

Zirkonstratigraphie nach vergleichender
morphologischer Analyse und statistischen
Rechenverfahren - dargestellt am Beispiel
klastischer Gesteine im Harz

von

Hans-Michael Trautnitz

aus

Eyb, jetzt Ansbach

1980

Addendum zu TRAUTWITZ 1980 "Zirkonstratigraphie ..."
Zu ergänzen ist auf S. 14 unten:

- Folierungsvorgänge;



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546216_0060

Zirkonstratigraphie nach vergleichender
morphologischer Analyse und statistischen
Rechenverfahren - dargestellt am Beispiel
klastischer Gesteine im Harz

Den Naturwissenschaftlichen Fakultäten
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

zur

Erlangung des Doktorgrades

vorgelegt

von

Hans-Michael Trautnitz

aus

Eyb, jetzt Ansbach

Als Dissertation genehmigt von den Naturwissenschaft-
lichen Fakultäten der Universität Erlangen-Nürnberg



Tag der mündlichen Prüfung: 18. 11. 1980

Vorsitzender der Promotionskommission:

Professor Dr. H. Wegener

Erstberichterstatter: Professor Dr. G. Nollau

Zweitberichterstatter: Professor Dr. K. Poll

Trautnitz, H.-M. (1980): Zircon stratigraphy after a comparing morphological analysis and a statistical process - illustrated by example of clastic rocks in the Harz mountains (W-Germany).- Inaugural-dissertation; 159 p., 98 fig., 7 tab.; Erlangen (W-Germany).

Abstract

Investigations of the morphological features of accessory zircon in Lower Carboniferous sedimentary rocks of the Harz mountains (S8se-graywacke, Kammquarzit/Quarzitschiefer, Sieber-graywacke) and statistical evaluation permit to give detailed information about the composition of the source rocks of these clastic complexes. All of these rock bodies contain - mutually compared - extremely heterogeneous zircon spectra.

The source rocks of the S8se-graywacke were for the most part (about 80 %) granitoid rocks. The remaining 20 % are composed by gneisses, granulites and sedimentary rocks. The Kammquarzit/Quarzitschiefer complex contains predominantly zircons which were submitted to repeated redepositions (rounded zircons). Only few grains (10 %) are idiomorphic or can be derived from granulites. Therefore, this sediment has to be regarded as polycyclic. About 60 % of the zircons of the Sieber-graywacke are zircons from granitoids and about 30 % are rounded ("sedimentary zircon") The rest are zircons from gneisses and granulites. Additionally, the heterogeneity of the three zircon assemblages is proved by investigations of colour, length, breadth, elongation, habit, surface conditions, structure (cores, inclusions), appearances of fractures and metamictization of the zircon grains.

The raw data were processed by computer (FORTRAN statistic programs (among other things the cluster analysis was used)).

It is no longer possible to assert that the Kammquarzit sands are derived directly from graywackes. The zircon assemblage of the H8rre-Kammquarzit (Rheinisches Schiefergebirge) is totally identical with the Harz-Kammquarzit. Therefore, it is very likely that there was only one Kammquarzit basin and only one source area for both of them.

The zircon spectrum of the Quarzitschiefer proves to be identical with the zircon spectrum of the Kammquarzit. This leads to the conclusion that the Quarzitschiefer may represent the development of the Kammquarzit in a special basin. A transportation of the Kammquarzit sands into the area of the S8se-graywacke did not happen.

Trautnitz, H.-M. (1980): Zirkonstratigraphie nach vergleichender morphologischer Analyse und statistischen Rechenverfahren - dargestellt am Beispiel klastischer Gesteine im Harz.- Inaugural-Dissertation, 159 S., 98 Abb., 8 Tab., 7 Taf.; Erlangen.

Kurzfassung

Untersuchungen der morphologischen Erscheinungen akzessorischer Zirkone in unterkarbonischen Sedimentiten des Harzes (Söse-Grauwacke, Kammquarzit/Quarzitschiefer, Sieber-Grauwacke) und die statistische Auswertung erlauben detaillierte Angaben über die Gesteinszusammensetzung der Liefergebiete dieser Klastitkomplexe. Die einzelnen Gesteinskörper enthalten untereinander verglichen äußerst heterogene Zirkonvergesellschaftungen.

Die Ausgangsgesteine der Söse-Grauwacke waren zum größten Teil (ca. 80 %) Granitoide. Gneise, Granulite und Sedimentite stellen den Rest. Der Kammquarzit/Quarzitschiefer-Komplex enthält vorwiegend Zirkone, die mehrfachen Umlagerungen unterworfen waren (gerundete Zirkone). Nur wenige Körner (10 %) sind idiomorph oder von Granuliten abzuleiten. Dieses Sediment ist somit als polyzyklisch anzusehen. Die Zirkone der Sieber-Grauwacke bestehen zu etwa 60 % aus Granitoid-Zirkonen und zu etwa 30 % aus gerundeten Zirkonen ("Sedimentzirkone"). Den Rest nehmen Zirkone aus Gneisen und Granuliten ein. Die Heterogenität der drei Zirkonspektren wird zusätzlich mit Untersuchungen von Farbe, Länge, Breite, Elongation, Tracht, Oberflächenbeschaffenheit, Aufbau (z.B. Kerne, Inklusionen), Bruchverhalten und Metamiktisierungserscheinungen der Zirkonkörner bewiesen. Die Aufbereitung der Rohdaten erfolgte mittels EDV (FORTRAN-Statistikprogramme (u.a. Clusteranalysen)).

Die Deutung, daß die Kammquarzit-Sande unmittelbar aufgearbeiteten Grauwacken entstammen, kann nicht mehr aufrecht erhalten werden. Der Zirkoninhalt des Hörre-Kammquarzits (Rheinisches Schiefergebirge) gleicht dem des Acker Kammquarzits vollkommen. Ein durchgehendes Kammquarzit-Becken und ein einziges Liefergebiet für beide ist somit wahrscheinlich.

Der Quarzitschiefer erweist sich hinsichtlich seines Zirkoninhaltes als identisch mit dem Kammquarzit und dürfte dessen Sonderbecken-Entwicklung repräsentieren.

Eine Vorschüttung der Kammquarzit-Sande in den Söse-Grauwacken-Bereich fand nicht statt.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	- 6 -
1 Einleitung	- 7 -
1.1 Lage des Arbeitsgebietes	- 7 -
1.2 Einführung in die Geologie des Arbeitsgebietes	- 7 -
1.2.1 Fazies-Gebiet der Sieber-Mulde mit Lonauer Sattel	- 7 -
1.2.1.1 Liegendes der Sieber-Grauwacke	- 7 -
1.2.1.1 Sieber-Grauwacke	- 7 -
1.2.2 Fazies-Gebiet der Kammquarzit- und Quarzit- schiefer-Schuppenzüge	- 11 -
1.2.2.1 Liegendes des Kammquarzits und des Quarzitschiefers	- 11 -
1.2.2.2 Kammquarzit und Quarzitschiefer	- 12 -
1.2.3 Fazies-Gebiet der Söse-Mulde	- 12 -
1.2.3.1 Liegendes der Söse-Grauwacke	- 12 -
1.2.3.2 Söse-Grauwacke	- 13 -
1.3 Einführung in die Zirkonanalyse	- 14 -
1.3.1 Umriß und Rundheit	- 14 -
1.3.2 Elongation	- 16 -
1.3.3 Beschaffenheit der Kornoberfläche	- 16 -
1.3.4 Farbe	- 17 -
1.3.5 Tracht	- 18 -
1.3.6 Kerne, Neuwachstum, Zonarbau	- 18 -
1.3.7 Metamiktisierung und Hydratation	- 20 -
1.3.8 Sprengungen, Brüche	- 20 -
1.3.9 Inklusionen	- 21 -
1.3.10 Zirkon-Xenotim-Verwachsungen	- 21 -
1.4 Problemstellung	- 22 -
1.5 Durchführung der Gelände- und Laborarbeiten	- 23 -
2 Verfahrensbeschreibungen	- 24 -
2.1 Probenahme	- 24 -
2.2 Präparation	- 24 -
2.3 Zählung und Auswertung	- 25 -
2.4 Fehlerabschätzung	- 26 -
2.4.1 Fehlerquellen	- 26 -
2.4.1.1 Probenahme	- 26 -
2.4.1.2 Präparation	- 26 -
2.4.1.3 Zählung	- 28 -
2.4.2 Anzahl der zu zählenden Körner	- 28 -

3 Überblick über den Inhalt an transparenten Schwer- mineralien	- 30 -
3.1 Sieber-Grauwacke	- 30 -
3.2 Kammquarzit	- 31 -
3.3 Söse-Grauwacke	- 31 -
4 Ergebnisse der Zirkonanalyse	- 33 -
4.1 Äußere Form und Farbe der Zirkonkörner	- 33 -
4.1.1 Umriss und Rundheit	- 33 -
4.1.2 Farbe	- 39 -
4.1.3 Zirkon-Rundheitsindex und -Farbindex	- 46 -
4.1.3.1 Rundheitsindex	- 46 -
4.1.3.2 Farbindex	- 50 -
4.1.3.3 Rundheitsindices aufgegliedert nach Farbzahlen	- 51 -
4.1.3.4 Rundheitsindex/Farbindex	- 51 -
4.1.3.5 Anzahl der zu zählenden Körner	- 55 -
4.1.4 Tracht	- 63 -
4.1.5 Längen und Breiten	- 65 -
4.1.6 Beschaffenheit der Kornoberfläche	- 65 -
4.1.7 Kombinierte Merkmale	- 71 -
4.2 Erscheinungen im Inneren der Zirkonkörner	- 73 -
4.2.1 Kerne, Neuwachstum, Zonarbau	- 73 -
4.2.1.1 Form der Kerne	- 73 -
4.2.1.2 Art des Neuwachstums	- 77 -
4.2.1.3 Räumliche Anordnung des Neu- wachstums	- 81 -
4.2.2 Metamiktisierung	- 85 -
4.2.3 Bruch	- 85 -
4.2.4 Inklusionen	- 86 -
4.2.4.1 Art der Inklusionen	- 86 -
4.2.4.2 Färbung der Inklusionen	- 92 -
4.3 Gehalt an Zirkon in den untersuchten Gesteinen	- 101 -
4.4 Genetische Klassifikation der Zirkonvergesell- schaften	- 101 -
4.4.1 Kammquarzit und Quarzitschiefer	- 103 -
4.4.2 Söse-Grauwacke	- 104 -
4.4.3 Sieber-Grauwacke	- 104 -
4.5 Cluster-Analyse der Sieber- und Söse-Grauwacke	- 106 -

5 Paläogeographische Verhältnisse	- 120 -
5.1 Ablagerungsraum	- 120 -
5.2 Herkunft der Klastika	- 120 -
6 Zusammenfassung der Ergebnisse	- 123 -
7 Probenverzeichnis	- 124 -
7.1 Sieber-Grauwacke	- 125 -
7.2 Kammquarzit	- 128 -
7.3 Quarzitschiefer	- 130 -
7.4 Söse-Grauwacke	- 131 -
7.5 Ortberg-Sandstein	- 134 -
7.6 Glimmerquarzit	- 134 -
8 Schriftenverzeichnis	- 135 -
9 Tafeln	- 146 -

Vorwort

"Nicht unwichtig wäre es, nachweisen zu können, aus welchem ursprünglichen Materiale sich Sande, Thone und andere lose Stoffe gebildet haben - und ein solcher Nachweis scheint mir wenigstens in gewissen Fällen durch den Zirkon möglich."

v. CHRUSTSCHOFF (1886)

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit Zirkonanalysen der Harzer Gesteine Sieber-Grauwacke, Kammquarzit und Quarzitschiefer sowie Söse-Grauwacke

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. G. NOLLAU, danke ich für die Überlassung des Themas, die ständige Anteilnahme am Fortgang der Arbeit, seine stetige Diskussionsbereitschaft und die vielfältigen Hinweise.

Den Herren Prof. Dr. W. SCHWAN, Dr. S. SCHÜFFLER und Dr. R. SOLANWAR schulde ich Dank für die Einführung in die Geologie des Acker-Bruchberges und der angrenzenden Gebiete im Rahmen meiner Diplomarbeit. Besonders habe ich auch meinem Freund und Kenner des Arbeitsgebietes, Herrn Dipl.-Geol. B. REICHEL für seine konstruktive Kritik bezüglich Fragen der Paläogeographie und Fazies zu danken

Meinem Bruder Fritz danke ich für die Überlassung seines Autos zur Probenahme und für die Mithilfe bei den Fotoarbeiten.

Die Bezirksregierung Braunschweig stellte mir dankenswerterweise eine Fahrgenehmigung für die Forstwege im Arbeitsgebiet zur Verfügung.

Frau K. SUNDERGELD half mir bei der Herstellung der Schwermineral-Präparate. Ihre stetige Hilfsbereitschaft ist besonders hervorzuheben.

Herrn Prof. Dr. K. POLL habe ich zu danken für die Gelegenheit zur Einarbeitung in die EDV, ohne die die Aufbereitung der Daten nicht in dieser Zeit möglich gewesen wäre.

Die Mitarbeiter des Regionalen Rechenzentrums Erlangen (RRZE) zeigten sich stets hilfsbereit.

Die REM-Aufnahmen wurden am Paläontologischen Institut Erlangen von Herrn Dr. H. KEUPP angefertigt. Ihm sei an dieser Stelle nochmals herzlich gedankt.

Herrn Prof. Dr. W. BAUSCH danke ich für die Möglichkeit zur Benutzung von Einrichtungen des Mineralogischen Institutes Erlangen.

Zuletzt danke ich meinen Eltern und meinen beiden Tanten, die mir den Zugang zu diesem Studium öffneten, bzw. immer regen Anteil daran nahmen.

1 Einleitung

1.1 Lage des Arbeitsgebietes

Das Arbeitsgebiet liegt im Ober- und Mittelharz auf den Topographischen Karten 1 : 25 000 Osterode (4227), Riefensbeek-Kamschlacken (4228), Sankt Andreasberg (4229) und Bad Lauterberg (4328) (Abb. 1, 2).

Es umfaßt eine Fläche von ca. 110 Quadratkilometern und enthält die tektonisch-faziellen Einheiten der Sieber-Mulde, des Lonauer Sattels, der Kammquarzit- und Quarzitschiefer-Schuppenzüge und der Söse-Mulde.

1.2 Einführung in die Geologie des Arbeitsgebietes

1.2.1 Fazies-Gebiet der Sieber-Mulde mit Lonauer Sattel

1.2.1.1 Liegendes der Sieber-Grauwacke

Die Schichtfolge (Abb. 3) am Lonauer Sattel beginnt mit Quarziten des Obererms, die nach SOLANWAR (1978:13) als Olistholithe im Wissenbacher Schiefer anzusehen sind. Als Nächstjüngeres folgt Wissenbacher Schiefer (Eifel). Givet ist nicht nachgewiesen (WACHENDORF 1966:186; SOLANWAR 1978:16). Das Oberdevon setzt im do I delta (SCHRIEL & STOPPEL 1958:272) oder wahrscheinlicher erst im do II alpha (SOLANWAR 1978:30) mit bunten Ton- und Kieselschiefern ein, deren Sedimentation bis in das höhere Oberdevon und Unterkarbon andauert (WACHENDORF 1966:191; SOLANWAR 1978:40). Im Unterkarbon I treten als Einlagerungen feinkörnige, glimmerreiche Grauwacken und Tonschiefer auf (SOLANWAR 1978:40). Als Äquivalent des Alaunschiefer-Niveaus (cu II alpha) in den NW' anschließenden Faziesgebieten ist eine Alaunschiefer-Grauwacken-Wechsellagerung anzusehen (STOPPEL & GUNDLACH 1972:12; SOLANWAR 1978:12).

1.2.1.2 Sieber-Grauwacke

Die Sieber-Grauwacke wird nach WACHENDORF (1966:196) dem cu II alpha - gamma zugeordnet. SOLANWAR (1978:60) belegte mit Fossilien cu II beta/gamma-Alter. Es konnte jedoch noch nicht geklärt werden, ob die Sieber-Grauwacke noch weiter ins Hangende hinaufreicht. Die Obergrenze wird in cu III vermutet. Neuere Untersuchungen deuten die Sieber-Grauwacke als Turbidit-Sediment (SOLANWAR 1978:70ff.).

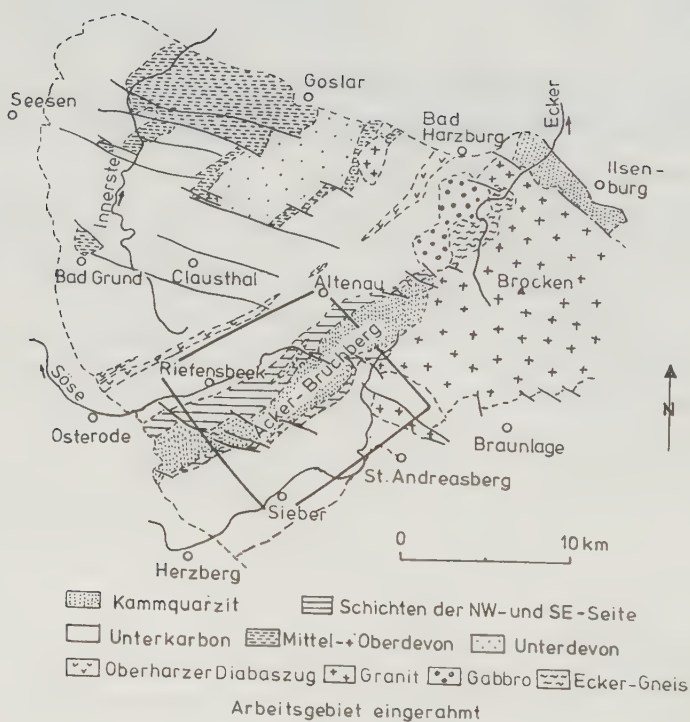


Abb.1: Lage des Arbeitsgebietes im Harz (Kartenunterlage nach W. SCHRIEL 1951: Geologische Übersichtskarte des Oberharzes 1: 200 000)

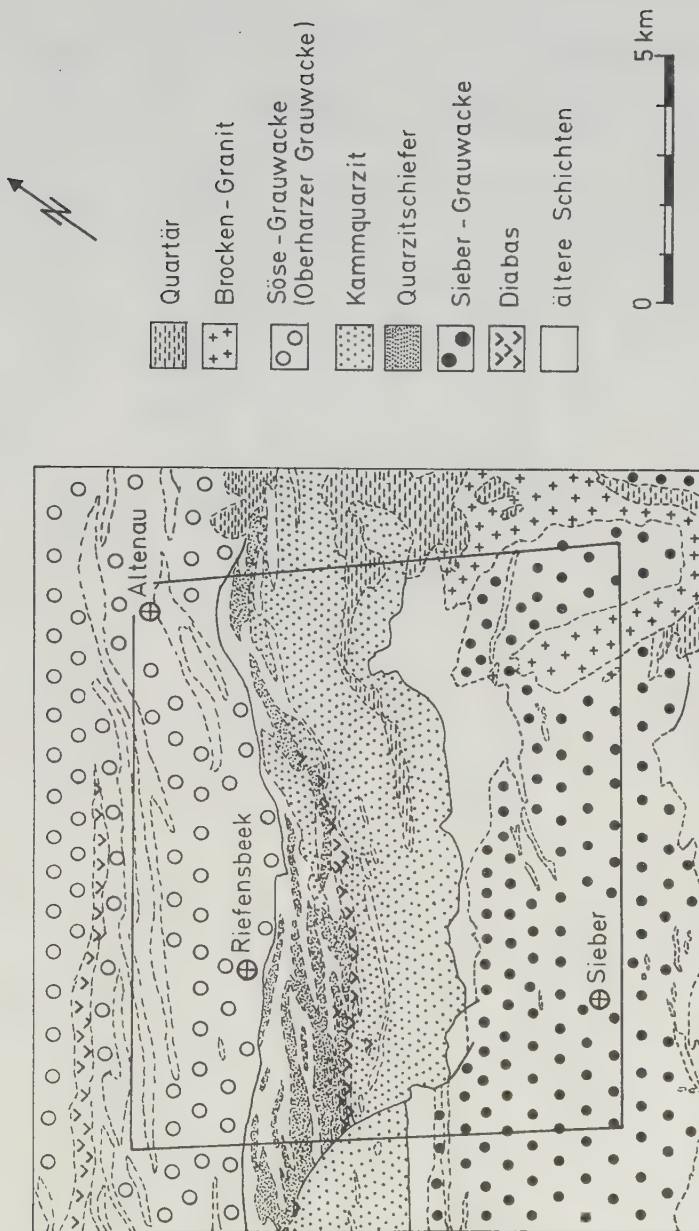


Abb. 2: Vereinfachte geologische Karte des Kulkul im Arbeitsgebiet (eingeraht)
(Kartenunterlage von C. HINZE: Harz, Geologische Wanderkarte)

NW

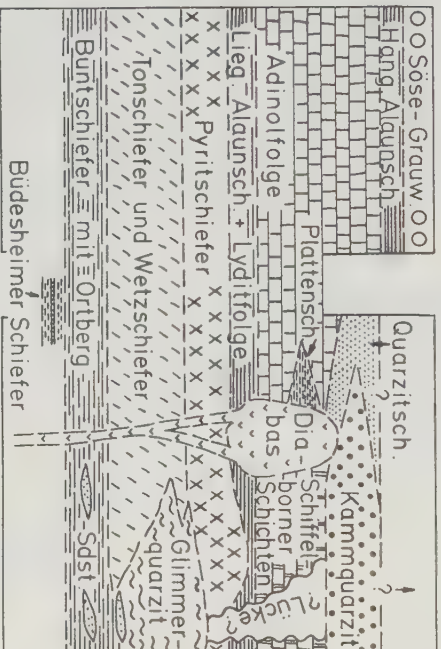
Söse-Mulde

Kammquarzit- und Quarzitschiefer-Schuppenzüge

Lonauer Sieber-Sattel und Mulde

SE

cu III		
	cu	δ
		β/γ
II	α	
cu I		
	IV-V	
	II/III	
	I	
do	o. u.	
dm		



cu III	δ	
	cu	II
α	β/δ	
cu I		
do	IV-VI	
	II/III	
dm	I	
	u. o.	

Sieber-Grauw. ? ?

Alaunsch. - Grauw. -

Kieselschiefer mit Grauw. - Einlagerungen

Wechselagerung

Lücke - Wissenbacher Sch. mit Olistolithen

Abb. 3: Stratigraphisch-fazielle Tabelle von Söse-Mulde, Kammquarzit- und Quarzitschiefer-Schuppenzügen sowie Lonauer Sattel und Sieber-Mulde (vereinfacht) nach MEMPEL (1932), K.-D. MEYER (1965), KOCHMANN (1968), PUTTICH (1972), RIBBERT (1975), SOLANMAR (1978) und eigenen Vorstellungen

1.2.2 Fazies-Gebiet der Kammquarzit- und Quarzitschiefer- Schuppenzüge

1.2.2.1 Liegendes des Kammquarzits und des Quarzitschiefers

Liegendes des Quarzitschiefers

Als älteste Schichten im Quarzitschiefer-Faziesbereich sind Wissenbacher Schiefer (Mitteldevon) beschrieben (MEMPEL 1934:66). Auf Grund der lithologischen Ausbildung handelt es sich aber wahrscheinlich um Schichten des Adorf (TRAUTNITZ 1978: 20f.). SOLANWAR kam bei einer gemeinsamen Begehung im Jahre 1977 zu der gleichen Ansicht. Auch KOCHMANN (1968a:10f.) konnte den Mitteldevon-Nachweis nicht erbringen. Das Oberdevon beginnt mit gebänderten Tonschiefen und eingelagerten Kalkbänken ("Büdesheimer Schiefer"), die Conodonten-Faunen des do I gamma lieferten (K.-D. MEYER 1965:391). Darüber folgen die bunten Tonschiefer des Nehden und Hemberg, die häufig mit Fossilien belegt sind (SCHRIEL & STOPPEL 1958, 1961; K.-D. MEYER 1965; KOCHMANN 1968a; PUTTRICH 1972). Das höhere Oberdevon konnte erstmals von MEISCHNER (1965, Exk.-Führer B2,II4) und dann von KOCHMANN (1968a:16) nachgewiesen werden.

Das Unterkarbon I wird vom hell-grünlichen Pyritschiefer vertreten, der jedoch bis in das cu II alpha hinaufreichen kann (KOCHMANN 1968a 21). Im Hangenden schließt sich die Normalfazies der Kulmkie-selschiefer an, nämlich die Lyditfolge (mit Alaunschiefer-Niveau) (cu II alpha) und Adinolfolge (cu II beta/gamma) (KOCHMANN 1968a; PUTTRICH 1972).

Nur im Schuppenzug unmittelbar NW' des Mittleren Diabas-zuges tritt der Plattenschiefer hinzu, der nach KOCHMANN (1968a:73ff.) und PUTTRICH (1972:108ff.) in das cu II beta/gamma einzuordnen und somit der Adinolfolge zeitgleich ist. Ab cu II alpha treten hier auch Diabase auf.

Liegendes des Kammquarzits

Im Verbreitungsbereich des Kammquarzits wurden bis jetzt als Ältestes Buntschiefer des Nehden und Hemberg nachgewiesen, denen im NW linsig glimmerreiche Sandsteine (Ortberg-Sandstein) eingelagert sind (SCHWAN 1950:35; KOCHMANN 1968a:99). Auf der SE-Seite des Kammquarzit- Zuges sind diese Glimmersandsteine in größerer Mächtigkeit vorhanden und reichen bis in das höhere Oberdevon (PUTTRICH 1972:46). Darüber schließt sich der "Horizont der Glimmerquarzite" an, der z.T. das höhere Oberdevon, aber auch noch Unterkarbon I vertritt (PUTTRICH 1972:52).

Im Hangenden folgen als normale Entwicklung Pyritschiefer und Lyditfolge (mit Alaunschiefer-Niveau)(s.o.). Ab cu II alpha bis cu II beta/gamma extrudieren Diabase und bauen den Mittleren Diabaszug auf, der fortan als Faziesscheide wirksam ist. An die Stelle der Normalfazies treten im Verbreitungsgebiet des Kammquarzits die Schifflborner Schichten (=tonige Fazies der Adinolfolge (cu II beta/gamma)).

1.2.2.2 Kammquarzit und Quarzitschiefer

Quarzitschiefer (zusammengezogen aus "Schiefer mit Quarziteinlagerungen" = quarzitarme Fazies des Kammquarzits)

Die Basis der Quarzitschiefer wurde durch SCHWAN (1950:16) in das cu II delta gelegt. Die Position der Hangendgrenze konnte bisher noch nicht sicher geklärt werden. Der Quarzitschiefer reicht vielleicht in das cu III.

Kammquarzit

Auf Grund der Feststellung, daß der Kammquarzit unterschiedlich alten Gesteinen auflagert, wurde auf einen regional verschiedenen Beginn der Kammquarzit-Schüttung geschlossen. So soll nach K.-D. MEYER (1965:403), KOCHMANN (1968a:57ff.) und PUTTRICH (1972:101) die Untergrenze des Kammquarzits in den SE-Bereichen am tiefsten liegen (cu I) und nach NW kontinuierlich bis in das cu II delta aufsteigen. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß die Faunen, mit denen ein höheres als cu II delta-Alter für den Kammquarzit begründet wird, nie aus Kammquarzit-Schichten selbst, sondern aus dessen Unterlager stammen. Die Fossilien aus dem Kammquarzit-Komplex belegen nur ein Alter von cu II delta (SCHRIEL & STOPPEL 1958:270; KOCHMANN 1968a:25; SOLANWAR 1978:85). Der Kammquarzit-Beginn dürfte somit im Grenzbereich des cu II beta/gamma zum cu II delta liegen. Etwa zum gleichen Ergebnis kamen BISCHOFF & STOPPEL (1957:16) am Wollenberg-Quarzit. Die Annahme eines Übergreifens des Kammquarzits über ein Relief, in dem Schichten unterschiedlichen Alters freilagen, kommt den Tatsachen somit am nächsten. Übereinstimmung herrscht hinsichtlich der Turbidit-Natur der Quarzitsedimente (PUTTRICH 1972:142; PAECH 1973:824; BURCHARDT 1977a:105; HOMRIGHAUSEN 1979:67). Der Quarzitschiefer dürfte eine Sonderbecken-Entwicklung der Turbidite repräsentieren.

1.2.3 Fazies-Gebiet der Söse-Mulde

1.2.3.1 Liegendes der Söse-Grauwacke

Nach MEMPEL (1932:10ff.) und MEISCHNER & SCHNEIDER (1970:47ff.) gleicht die Entwicklung im Liegenden der Söse-Grauwacke weitgehend der Ausbildung im Quarzitschiefer-Faziesbereich mit devonischen Buntschiefern, Äquivalenten des Pyritschiefer und Kulmkieselschiefern. Eine Schichtlücke zwischen Devon und Karbon ist nicht vorhanden (MEISCHNER & SCHNEIDER 1970:50). Die Kulmkieselschiefer in Gestalt der Hangenden Alaunschiefer reichen jedoch bis in das cu III hinauf (v. STRAATEN 1969 in RIBBERT 1975; KULLMANN & MEYER 1963).

1.2.3.2 Söse-Grauwacke

Die Hauptmenge der Söse-Grauwacke baut sich aus Schichten mit cu III alpha - gamma-Alter auf (MEMPEL 1932:16ff.). Einzelne "dünne Grauwackenbänke" treten aber bereits als Einlagerungen in den Kulmkie-selschiefern auf (RIBBERT 1975:32) und sind wohl als die ersten Grauwackenschüttungen in diesem Raum aufzufassen (ab cu II alpha). Die Grauwacken stellen Turbidit-Sedimente dar (MATTIAT 1960; PLESS-MANN 1961).

1.3 Einführung in die Zirkonanalyse

In den folgenden Kapiteln sollen nur die wesentlichsten Grundzüge der Analysentechnik wiedergegeben werden. Umfangreiche Beschreibungen und Abbildungen finden sich besonders in den Arbeiten HOPPE's und seiner Mitarbeiter und in der angegebenen Literatur.

Das Mineral Zirkon ($ZrSiO_4$) ist als akzessorische Komponente in den meisten Gesteinen vorhanden. Bei den Magmatiten (besonders den Granitoiden) gehört es zu den Frühausscheidungen und wächst dann während einer längeren Kristallisationsperiode weiter.

Bei sedimentären Prozessen erweist es sich als eines der widerstandsfähigsten Mineralien und kommt somit in fast allen, nicht nur klastischen Sedimenten vor.

Neuwachstum um alte Kerne kann bei Metamorphose und Anatexis stattfinden (TAUBENECK 1957, SCHIDLOWSKI 1963). Bisweilen beobachtet man, daß die genannten Prozesse mehrfach durchlaufen wurden (Abb. 4).

Auf die chemische Zusammensetzung des Zirkons sei hier nicht näher eingegangen. Eine umfangreiche Literaturzusammenstellung darüber findet sich bei GÖRZ (1974).

Neben der quantifizierenden Verwendung der morphologischen Erscheinungen für petrogenetische Aussagen (POLDERVAART 1950, 1955, 1956; HOPPE 1951, 1957, 1959a, 1959b, 1961, 1962a, 1962b, 1962c, 1963a, 1963b, 1966a, 1966b, 1967; HOPPE & SCHWAB 1964; HOPPE & KUNERT & SCHWAB 1965; TOMITA 1954; TOMITA & KARAKIDA 1958; KARAKIDA 1961, 1963; KÖHLER 1970; PUPIN & TURCO 1972, 1974; PUPIN et al. 1969, 1978) gewinnen zunehmend radiometrische Altersbestimmungen Interesse (z. B. GOTTFRIED et al. 1959; HOPPE 1959b; STERN & ROSE 1961; GRÜNFELDER 1963; GRÜNFELDER et al. 1964, 1968; KARAKIDA et al. 1965; GASTIL et al. 1967; KÖPPEL & GRÜNFELDER 1971).

1.3.1 Umriß und Rundheit

Die idiomorphen Zirkonkristalle verlieren bei mechanischer Beanspruchung durch Abtragung und Transport der Trägergesteinsbruchstücke kontinuierlich ihre euhedrale Form. Über das Stadium der Kantenrundung (Taf. 6, Fig. 5-8) gehen sie zu runden Körnern über (im folgenden als "sekundäre Rundung" bezeichnet). Dieser Rundungsvorgang ist für die Hauptmenge aller runden Zirkone verantwortlich und erfordert sicher mehrfache Umlagerungen dieses ultrastabilen Minerals (vgl. POLDERVAART 1955:440ff.; KLAUA 1969:64; HOMRIGHAUSEN 1979:63). Zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang auch die experimentellen Untersuchungen von FREISE (1931) und DIETZ (1973).

Korrosionsvorgänge dürften bisweilen einen nicht zu unterschätzenden Beitrag zur Kornverrundung der Zirkone leisten (FREDERICKSON 1948; CARROLL 1953; CARUBA et al. 1974).

Vorgänge, die weiterhin Rundung von Zirkonkristallen bewirken können, werden in der Literatur interpretiert als:

- Resorptionsvorgänge in Magmatiten (ARMSTRONG 1922:393; GOLDSTEIN 1950:89)

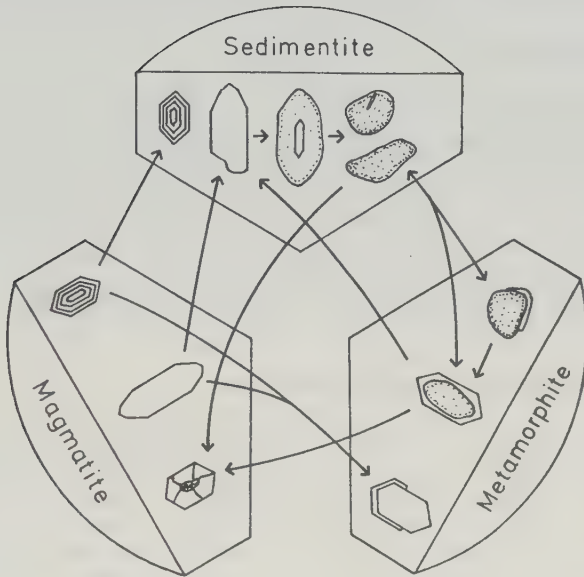


Abb.4: Einfaches Schema des Zirkon-Kreislaufs

cons is found to be the rule in rock masses which have been subjected to earth movements ... before final consolidation of the mass"). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen BRUCE & JEWITT (1936:208) und POLDERVAART (1956:529).

- Postkinematische Rekristallisationsvorgänge (KALSBECK & ZWART 1967)
- Wachstumsvorgänge;
HOPPE (1963a, 1966a) zeigte, daß die runden Formen von Zirkonen aus Glimmerschiefern, Gneisen und Granuliten sich während der Metamorphose durch Wachstum gebildet haben.

Die genannten vier Möglichkeiten sind im folgenden als "primäre Rundungsvorgänge" zusammengefaßt.

In der Literatur wird häufig die Rundheit von rosafarbenem Zirkon

(Hyacinth) betont bzw. eine höhere Rundheit im Vergleich zu farblosen Kristallen hervorgehoben (BRAMMAL 1928; MORGAN & AUER 1941; HUTTON (1950); CALLENDER & FOLK 1958).

1.3.2 Elongation

Unter der Elongation (E) versteht man den Quotienten aus Länge (L) und Breite (B).

Von Poldervaart (1950, 1955, 1956) und seinen Mitarbeitern (POLDERVAART & BACKSTRÖM 1950; LARSEN & POLDERVAART 1955, 1957) wurde häufig die Verteilung von Länge, Breite und Elongation von Zirkonkörnern zu petrogenetischen Deutungen herangezogen. Aussagekraft ist jedoch nur in besonderen Fälle gewährleistet (vgl. HOPPE 1962a:37; Kap.4.1.5). In Magmatiten liegen die Elongationswerte der Zirkonkristalle durchweg bei den höheren Werten (>2). Sedimentite mit runden, mehrfach umgelagerten Körnern zeigen Elongationen zwischen 1,5 und 2,0.

1.3.3 Beschaffenheit der Kornoberfläche

Zirkonkristalle aus Magmatiten besitzen meist ebene und glatte Oberflächen. Sämtliche in Kap. 1.3.1 beschriebenen Mechanismen können durch Lösung zu einer Aufrauung einer ehemals glatten Fläche führen bzw. durch unregelmäßiges Neuwachstum Rauigkeit erzeugen. Hohe Rundheitsgrade, verbunden mit einer rauen Oberfläche (bei gleichzeitigem Fehlen der Anzeichen für Neuwachstum im Glimmerschiefer- oder Gneisstadium) dürfen ohne Bedenken als Indikator für die Herkunft der Zirkonkörner aus Sedimentiten angesehen werden (künftig als "Sedimentzirkone" bezeichnet). Andere Prozesse, die ähnliche Körner hervorbringen (Konvergenz), sind selten. Granulitzirkone mit hohen Rundheitsgraden können meist an ihrer glatten Oberfläche und anderen Kriterien (Inklusionen, Aggregatbildung) erkannt werden.

1.3.4 Farbe

Die Farbe des Zirkons ist eng verknüpft mit dem Gehalt an radioaktiven Elementen (vor allem U und Th). Sehr hohe Gehalte verursachen

	I	Radioaktivität (count/gm./min.)
Normaler Zirkon	I	
	I	35
	I	91
	I	90.
Hyacinth	I	
	I	0
	I	0
	I	77
	I	110
	I	117
	I	166
	I	193
	I	344
	I	478
Malakon	I	
	I	493
	I	508
	I	545
	I	624
	I	629
	I	1074
	I	1255
	I	2852

Tab. 1: Radioaktivitäten von normalem Zirkon, Hyacinth und Malakon (nach MORGAN & AUER 1941)

durch alpha-Strahlung Metamiktisierung (vgl. Kap. 1.3.7; Tab. 1) und damit Trübung und Dunkelfärbung der Körner. Grüne Farben gelten ebenfalls als Folge von Metamiktisierungsvorgängen (TOMITA 1954). HUTTON (1950:688) führte sie jedoch auf den Einbau von Phosphor und Seltenen Erden ins Zirkongitter zurück. Im untersuchten Material wurden grüne Zirkone nicht beobachtet. Es kann deshalb auch nicht beurteilt werden, welcher Theorie der Vorzug zu geben ist. Mittlere Gehalte an U und Th bewirken eine gelbliche bis rote Ver-

färbung, während die Kristalle mit den niedrigsten Werten farblos bleiben (MORGAN & AUER 1941; HUTTON 1950; YAMAGUCHI 1961; GASTIL et al. 1967). Auch gegenteilige Beobachtungen wurden mitgeteilt. HOUTON & MURPHY (1965) fanden bei rosavioletten Zirkonen geringere Radioaktivität als bei farblos-klaren. Dies dürfte nach Auswertung der angegebenen Literatur aber als Ausnahme anzusehen sein.

TOMITA (1954) deutete die Intensität der Rotfärbung als abhängig von der Zeitdauer der Bestrahlung und hält die Hyacinthe generell für präkambrisch. Zu ähnlichen Ergebnissen kam ZIMMERLE (1972).

Diese Bestrahlungsverfärbung kann durch Hitzeeinwirkung zum Verschwinden gebracht werden. Über die erforderlichen Temperaturen werden unterschiedliche Angaben gemacht. Sie reichen von 150 - 900 Grad Celsius (POLDERVAART 1950; TOMITA 1954; GASTIL et al. 1967).

Die Entfärbung ist reversibel. Durch künstliche Bestrahlung kann die ursprüngliche Farbe wieder hergestellt werden (TOMITA 1954). Offensichtlich sind aber die Vorgänge, die zu Färbung und Entfärbung von Zirkonen führen, noch nicht vollständig verstanden (GASTIL et al. 1967:892).

1.3.5 Tracht

Zirkon ist ein Mineral der ditetragonal-dipyramidalen Kristallklasse. Die am häufigsten vorkommenden Flächen sind:

- Prismenflächen $a(110)$ und $m(100)$
- Pyramidenflächen $p(101)$, $x(211)$ und $u(301)$

Bestimmte Tracht- (und auch Habitus-) Kombinationen sind mit gutem Erfolg für petrogenetische Auswertungen an Magmatiten herangezogen worden. Zu nennen sind hier besonders PUPIN & TURCO (1972, 1974). In dieser Arbeit soll das Schema von TOMITA & KARAKIDA (1958) verwendet werden (Abb. 5).

1.3.6 Kerne, Neuwachstum, Zonarbau

Nicht selten finden sich im Inneren der Kristalle Einschlüsse aus Zirkonsubstanz in der gleichen kristallographischen Orientierung wie die Hülle (Kerne) (vgl. Taf. 1, 3). An verschiedenen Merkmalen (z.B. Form der Kerne, Häufung von Einschlüssen auf der Kernoberfläche) kann erkannt werden, daß die Bildungsbedingungen des Kristalls gewechselt haben bzw. daß die Hülle beträchtlich später gebildet wurde als der Kern. Besonders die rundlichen, auf ihrer Oberfläche oft stark verunreinigten Kerne der Zirkone aus Glimmerschiefern und Gneisen werden leicht erkannt, wenn sie mit idiomorpher Hülle vorliegen, also infolge Anatexis in Schmelzen gelangten und Kristallisationskeime für die Magmatitzirkone bildeten (Taf. 3, Fig. 8; Abb. 47, 52).

Natürlich können sich Kerne auch der Beobachtung entziehen, falls sie die gleiche Lichtbrechung wie die Hülle besitzen und andere Kernanzeiger wie z. B. Verunreinigung der Kernoberfläche durch feste, flüssige oder gasförmige Substanzen oder Zonarbau fehlen.

Besonders in sauren Vulkaniten finden sich oft Kristalle mit scharfkantigen oder rundlichen Vertiefungen. Sie werden als Wachstumsbe-

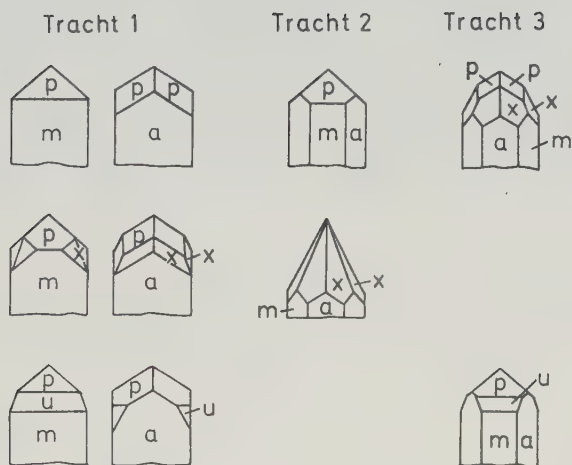


Abb.5: Schematische Klassifikation von Zirkontrachten
(nach TOMITA & KARAKIDA 1958:Fig. 1)

hinderungen durch ältere Kristalle oder durch Blasen einer flüssigen oder gasförmigen Phase gedeutet (HOPPE 1963a, b, 1966b, 1967; HOPPE et al. 1964, 1965).

Die als Zonarbau hervortretenden geringen Unterschiede in der Licht- und Doppelbrechung werden auf wechselnde chemische Zusammensetzung der Kristalle zurückgeführt. Besonders der diadoche Ersatz des Zr durch U und Th hat auf Grund der alpha-Strahlung der radioaktiven Elemente eine Erniedrigung der Licht- und Doppelbrechung (Metamiktisierung) zur Folge (HOPPE 1963a:11; MEDENBACH 1976:8).

Neben diesem normalen Zonarbau wird von HOPPE (z. B. 1962a:40) noch eine "zonar"gestörte Wachstumsform" ausgeschieden, für die eine "verminderte bis fehlende Doppelbrechung und die mehr oder minder geringe Oberflächengüte" charakteristisch ist. Die Metamiktisierung ist in diesem Fall also besonders intensiv und kann bis zur Isotropisierung führen. Solche Kristalle bezeichnet man als Malakon.

Auch von authigenem Weiterwachsen in Sedimenten wurde berichtet (BUTTERFIELD 1936; SMITHSON 1937; BOND 1948; VALETON 1955; AWASTHI 1961; SAXENA 1966a, b, 1968a, b; MADER 1980), was aber z. T. nicht unwidersprochen blieb (HOPPE 1951, 1962a, 1963a; KALSBECK 1967; MARSHALL 1967, 1968)(vgl. Kap. 1.3.10).

1.3.7 Metamiktisierung und Hydratisierung

Eine übersichtliche Zusammenstellung der Erscheinungen bei Metamiktisierung und Hydratisierung findet sich bei MEDENBACH (1976). Davon ist hier nur das wichtigste wiedergegeben:

Größere U- und Th-Gehalte im Zirkon führen auf Grund ihrer alpha-Strahlung beim Zerfall zu einer Zerstörung des Zirkongitters (Metamiktisierung). Hierbei ändern sich die physikalischen Eigenschaften: Erniedrigung der Licht- und Doppelbrechung, der Dichte und der Härte, Aufweitung des Gitters, Zunahme der Löslichkeit (MEDENBACH 1976) und des Magnetismus (GASTIL et al. 1967:880).

Der Aufbau der isotropisierten Zirkone ist noch weitgehend unklar. Die Hydratisierung ergreift nach MEDENBACH (1976:10) nur die isotropisierten Bereiche der Kristalle. Sprengungserscheinungen wie bei der Metamiktisierung treten hier nicht auf, woraus Auslaugungsvorgänge gefordert werden müssen.

1.3.8 Sprengungen, Brüche

Bei Metamiktisierung findet Volumenzunahme statt (vgl. Kap. 1.3.7). Aus diesem Grund beobachtet man häufig ein Aufplatzen der äußeren Hülle des Zirkonkristalls, was im folgenden Sprengung genannt wird. Sprengung äußert sich meist in radial von der Kornmitte ausgehenden Sprüngen, wobei nur die Hülle oder auch Kern und Hülle gemeinsam betroffen sein können. Seltener kommt eine mosaikartige Zerlegung der Hülle vor.

Bei Verwitterung und Transport zerbricht der Kristall bisweilen, bevorzugt an den durch die Sprengung vorgezeichneten Sprüngen. Die Bruchflächen können durch die nachfolgenden Transportvorgänge wieder angerundet werden. Prozesse der Diagenese, Gebirgsbildung und Meta-

morphose tragen möglicherweise auch dazu bei, den Anteil der zerbrochenen Körner zu erhöhen. Dies ist sehr selten eindeutig zu erkennen (Taf. 5, Fig. 15). Gering ist jedoch der Anteil der bei der Probenpräparation entstandenen Brüche (vgl. Kap. 2.4.1.2). Erschwerend kommt hinzu, daß eine Unterscheidung der "natürlichen" von präparativ bedingten Brüchen meist nicht möglich ist.

1.3.9 Inklusionen

Neben flüssigen und gasförmigen Inklusionen (Blasen und Schläuche) kommen häufig mineralische Inklusionen vor. Ihre genaue Identifizierung u. d. M. gelingt nur selten, so daß eine quantitative Auswertung in dieser Arbeit nicht sinnvoll war. Weiterführen können hier z.B. Mikrosondenuntersuchungen (GÖRZ 1974; MEDENBACH 1976). Als die wichtigsten Einschlüsse sind anzuführen (HUTTON 1950; MEDENBACH 1976): Apatit, Biotit, Erze (Hämatit, Ilmenit, Pyrit, etc.), Monazit, Quarz, Rutil, Thorit, Titanit, Turmalin, Xenotim.

Die Inklusionen wurden lediglich nach ihrer äußeren Form klassifiziert. Es wurden rundliche (meist gas- oder flüssigkeitsgefüllte), stäbchenförmige (meist mineralische) und unregelmäßige (meist mineralische) Inklusionen unterschieden.

Generell gilt, daß Zirkone mit zahlreichen Inklusionen instabiler sind als solche mit wenigen Einschlüssen (CARROLL 1953:107). Mehrfach umgelagerte Zirkonpopulationen müßten demnach weniger Körner mit Inklusionen enthalten.

1.3.10 Zirkon-Xenotim-Verwachsungen

Neben partiellem Neuwachstum um ältere Kerne (Auswachsungen nach HOPPE, a.a.O.) kommen weiterhin Erscheinungen vor, die in der Literatur ebenfalls als Zirkone mit (Zirkon-) Auswachsungen bezeichnet werden (BUTTERFIELD 1936; SMITHSON 1937). Wie bereits von BRAMMAL (in SMITHSON 1941:104) vermutet, handelt es sich aber nicht um Zirkon, sondern um eine orientierte Verwachsung von Zirkon und Xenotim (HOPPE 1951, 1962a, 1963a).

Solche Xenotim-Aufwachsungen wurden nur an Zirkonen aus einer früher genommenen feinkonglomeratischen Kammquarzitprobe (sog. "Löcherquarzit") mit Sicherheit beobachtet.

1.4 Problemstellung

Nach Klärung der grundlegenden stratigraphischen und tektonischen Probleme bestehen bis heute unterschiedliche Auffassungen über die Paläogeographie während der Unterkarbon-Zeit und die Schüttungsrichtungen bzw. Herkunft der Klastika, vor allem in Bezug auf den Kammquarzit und dessen Faziesäquivalent, den Quarzitschiefer.

Eine Autorengruppe (z.B. SCHWAN 1950, 1958, 1967; BRINCKMANN 1963; K.-D. MEYER 1965; KOCHMANN 1968a, b; PUTTRICH 1972; PUTTRICH & SCHWAN 1974; SOLANWAR 1978) nimmt eine Schüttung aus SE von der Mitteldeutschen Schwelle an, während andere (REUTER 1964; BURCHARDT 1977a, b) die Kammquarzit-Sande aus N bzw. NE herleiten.

Besonders muß hier darauf hingewiesen werden, daß SCHWAN und seine Schüler (KOCHMANN, PUTTRICH, SOLANWAR) den Kammquarzit als Aufarbeitungsprodukt von SE' gelegenen Grauwacken deuten. Der Kammquarzit soll dann seinerseits nach NW in das Faziesgebiet der Söse-Grauwacke vorgeschüttet worden sein. Nach KOCHMANN (1968a:115) "... dehnt sich der Einfluß der Kammquarzit-Fazies in den jüngsten Schichten am weitesten nach NW aus. ... Es wurden im Söse-Kulm an der Straße Dammhaus-Kamschlacken hoch im Profil unreine meterdicke Quarzitbänke beobachtet".

Die Vorstellung von der Ablagerung des Kammquarzits auf einer Schwelle (z. B. K.-D. MEYER 1965; KOCHMANN 1968; MEISCHNER 1968; MEISCHNER & SCHNEIDER 1970) dürfte wohl endgültig zu verlassen sein, da in der jüngeren Literatur (PUTTRICH 1972; PAECH 1973; BURCHARDT 1977a, b; SOLANWAR 1978) Einigkeit über die Turbidit-Natur des Kammquarzits herrscht.

Wie es u. a. von SCHWAN (1950, 1958, 1967), SCHRIEL & STOPPEL (1958) und BRINCKMANN (1963) schon früher vertreten wurde, gewinnt somit die Sedimentation in einem Becken die größere Wahrscheinlichkeit.

Schließlich hielt vor allem SCHRIEL (1933) den Quarzitschiefer für ins jüngere Oberdevon (Dasberg) gehörig. Die Zweifel am Unterkarbon-Alter wurden erst durch SCHWAN (1950) ausgeräumt, worauf SCHRIEL & STOPPEL (1958) einen unterkarbonischen Anteil vom hochoberdevonischen Quarzitschiefer abtrennten. Neuere Forschungen (K.-D. MEYER 1965:396; KOCHMANN 1968a:19; PUTTRICH 1972:117) stellen dieses Schichtglied einheitlich ins Unterkarbon (s. o.).

Auf folgende Fragen sollte also eine Antwort gesucht werden:

- Können psammitführende Komplexe (hier am Beispiel von Sieber-Grauwacke, Kammquarzit/Quarzitschiefer und Söse-Grauwacke) unter Zuhilfenahme der Zirkonanalyse hinreichend unterschieden werden? Wenn ja, welche Merkmale sollen dazu herangezogen werden (Versuch einer Zirkonstratigraphie)?
- Kann aus dem Zirkoninhalt der Sedimente auf die Art der abgetragenen Gesteine geschlossen werden?
- Können die angrenzenden älteren oder ungefähr gleichalten Grauwacken als Ausgangsmaterial für die reinen Kammquarzit-Sande in Frage? Können die Quarzite, die KOCHMANN (1968a:115) aus der Söse-Grauwacke beschreibt, als Kammquarzit identifiziert werden?
- Läßt sich die Auffassung, der Quarzitschiefer stelle die quarzit-

arme Fazies des Kammquarzits dar, auch mit der Zirkonanalyse bestätigen?

1.5 Durchführung der Gelände- und Laborarbeiten

Die Probenahme wurde im April und Mai 1979 durchgeführt. Hinzu kam ein kurzer Geländeaufenthalt im Oktober desselben Jahres.

Bei der Probenahme konnte auf das umfangreiche Kartenmaterial von KOCHMANN (1968a), PUTTRICH (1972), HEIMBUCHER (1978), KLUMP (1978), REICHEL (1978), SOLANWAR (1978) und TRAUTNITZ (1978) zurückgegriffen werden.

Insgesamt wurden 119 Proben genommen. Die Kammquarzitprobe vom Wolkenberg stammt aus der Sammlung des Geologischen Institutes Erlangen. Somit wurden 120 Proben im Labor aufbereitet und ausgewertet.

2 Verfahrensbeschreibungen

2.1 Probenahme

Um einen unbeeinflussten ("unbiased") Ausschnitt aus der Population zu erhalten, wurde nach der Methode der Zufalls-Probenahme (random-sampling) vorgegangen (ALLEN 1944:72; GRIFFITHS 1960:353; DAVIS 1973:62). Nur so kann erwartet werden, daß die später an den Proben gemessenen Variablen normalverteilt sind bzw. daß gegebenenfalls festgestellte Unterschiede nicht auf die Probenahme zurückzuführen sind* ("A random sample will be unbiased,..." (DAVIS 1973:62)).

Zu diesem Zweck wurde das Arbeitsgebiet mit einem quadratischen Probenetz überzogen, wobei als Abstand der Probenpunkte eine Entfernung von 1 km gewählt wurde. Anhaltspunkte bildeten die Kreuzungspunkte des Koordinatensystems der topographischen Karten. Falls am betreffenden Ort Anstehendes vorhanden war, wurde die Probe, der Empfehlung NORMAN's (1969:278) folgend, ungefähr aus der Mitte der Bank entnommen. Im Falle, daß nur Lesesteine zur Verfügung standen, wurde ein Gesteinsstück willkürlich herausgegriffen.

Die Probenmenge betrug ungefähr 1,5 kg.

Sofort bei der Entnahme wurde die Probe mit Hilfe eines Formulars beschrieben (Gesteinsart, Farbe, Körnigkeit, Härte, Koordinaten des Probenpunktes etc.).

2.2 Präparation

Die Proben wurden grob gereinigt und im Backenbrecher gebrochen, bis die größten Partikel ungefähr Erbsen- bis Walnußgröße annahmen. Anschließend wurde dieses Material im Stahlmörser ca. 10 - 15 Minuten stampfend bearbeitet. Hierbei waren reibende Bewegungen zu vermeiden, weil dadurch die Körner mechanisch stärker beansprucht werden (FRASL 1963:409).

Mit Hilfe einer Siebmaschine wurde die Fraktion 100 - 150 Mikron abgetrennt (Dauer der Siebung: 10 Min.). Ca. 50 g des so gewonnenen Sandes wurden der weiteren Behandlung unterworfen. Stand mehr als die genannte Menge zur Verfügung, erfolgte Probenteilung durch Vierteln.

Zur Auflösung der Eisenverbindungen wurde einige Stunden mit warmer, konzentrierter Salzsäure (ca. 30%) behandelt. Nach Abgießen der Säure erfolgte gründliches Spülen mit Wasser, wobei auch die eventuell noch vorhandene Tontrübe abgeschlämmt wurde. Beim Trocknen im Trockenschrank war darauf zu achten, daß die Probe nicht über 150 Grad Celsius erhitzt wurde, da ab dieser Temperatur farbige Zirkonkristalle sich zu entfärben beginnen (TOMITA 1954).

Die Schwermineralkörner wurden anschließend mittels Bromoform ($d=2.88$) abgetrennt und als Dauerpräparat in Kunstharz (Rhenohistol, $n=1,52$) eingebettet. Nur bei der Sieber-Grauwacke war es nötig, den hohen Granatanteil (vgl. RABITZSCH & GRÜGER 1968; Kap. 3.1) von bis 50 % der transparenten Schwermineralien vorher mit einem Frantz-Magnetscheider abzutrennen. Ein Schwermineralkonzentrat aus dem Quarzitschiefer erwies sich als stark barytführend (vermutlich aus Kluftbesteg). Durch eine Behandlung mit heißer, konzentrierter

Schwefelsäure und einer wässrigen Chloridlösung (TRÜGER 1969:116) konnte der gesamte Schwerspat in Lösung gebracht werden. Die Körner wurden mit einem feinen Pinsel auf die Objektträger aufgebracht. Das Aufnehmen der Körner ist mit einem Pinsel mit gerade abgeschnittenen Haaren leichter als mit rund abgeschnittenen Pinseln. Unmittelbares Aufbringen durch klopfendes Herausschütteln ist wegen der dabei stattfindenden gravitativen und Korngrößen-Selektion zu vermeiden.

2.3 Zählung und Auswertung

Die Zählung erfolgte mit dem Polarisationsmikroskop bei 63- bzw. 315-facher Vergrößerung unter Zuhilfenahme eines Kreuztisches. Ausgezählt wurden jeweils 100 Körner pro Präparat, und zwar alle, die nach ihrer äußeren Form gemäß der Abb. 6 klassifizierbar waren (Einzige Ausnahme: Elongationsmessungen der idiomorphen und subidiomorphen Zirkone; hier wurden nur unzerbrochene Körner berücksichtigt). Das bedeutet, daß auch z. B. zerbrochene, idiomorphe Kristalle mit nur einem Pyramidenende der Klasse A zugeschlagen wurden usw. . Auf die zerbrochenen Körner wurde deshalb nicht verzichtet, weil die Präparation nur wenig zum Zerbrechen der Körner beiträgt (LARSEN & POLDERVAART 1957; ZIMMERLE 1963; HENNINGSEN 1967). Der größte Teil der Brüche an den idiomorphen Körnern dürfte also schon vor der endgültigen Sedimentation vorhanden gewesen sein. Zudem ist bei Transport und Sedimentation der Bruchvorgang elementarer Bestandteil der Formneubildung an klastischen Körnern und sollte deshalb nicht ausgeklammert werden. "Frischer" (d. h. bei der Präparation entstandener) Bruch kann überdies oft nicht klar von "altem" Bruch getrennt werden. Aus diesem Grund halten auch KALSBEEK & ZWART (1967:459) die Zählung der zerbrochenen Körner für sinnvoll. Die Selektion nach "zerbrochen" oder "nicht zerbrochen" entbehrt ebenfalls nicht einer gewissen Willkür (bias), die tunlichst vermieden werden muß (vgl. Kap. 2.1).

Jedes Korn wurde einzeln nach der äußeren Form und den Erscheinungen im Inneren beurteilt, wobei jedes Merkmal sofort in einen Zifferncode übertragen und in Formularen aufgelistet wurde. Hierzu wurden Vergleichstabellen angefertigt und beim Mikroskopieren immer im Blickfeld aufgestellt. Dies ist unbedingt notwendig, um die Drift z.B. bei Form- und Farbbeurteilungen, die beim Mikroskopieren über längere Zeiträume hinweg unweigerlich stattfindet, möglichst klein zu halten.

Weiterhin wurden die Proben in der Reihenfolgen von Zufallszahlen gezählt, um künstliche, durch Drift hervorgerufene Trends, auszuschließen zu können. Eine Zählung ohne Kenntnis der Herkunft der Proben, wie von CALLENDER & FOLK (1958:263) vorgeschlagen wurde, war nicht sinnvoll, da Verfasser die drei verschiedenen lithologischen Komplexe in fast allen Fällen an ihrem Zirkoninhalte sofort erkannte.

Es empfiehlt sich, beim Mikroskopieren die Beleuchtungsverhältnisse häufig zu verändern (z. B. mit der Kondensorblende) und immer auf verschiedene Ebenen des Korns zu fokussieren. Innenstrukturen werden dadurch besser erkannt. Hierfür erwies sich das Einklappen der Kon-

densorklapplinse ebenfalls als hilfreich, weshalb alle Beobachtungen - auch die Farbbeurteilungen - in dieser Weise vorgenommen wurden. Die Beleuchtungsquelle blieb unverändert. Natürlich ist darauf zu achten, daß eine Farbansprache immer am selben Mikroskop mit derselben Okular/Objektiv-Kombination durchgeführt wird. Die Erfahrung zeigte, daß in anderen Mikroskopen als dem gewohnten besonders die blassen Farben ganz anders beurteilt wurden.

Mit Hilfe von selbst erstellten Statistikprogrammen wurden am Regionalen Rechenzentrum Erlangen die Daten sortiert und die statistischen Parameter berechnet. Die Verteilungskurven der Abbildungen wurden durch manuelle Glättung der Histogramme gewonnen. Die Gruppenbreite der Histogramme ist aus dem Maßstab der Abszisse ersichtlich. Sind zwei Abszissenteilungen angegeben, gilt die kleinere. Auf die Angabe von Standardabweichungen wurde weitgehend verzichtet, da die gefundenen Häufigkeitsverteilungen selten im strengen Sinne normalverteilt sind. Oft findet man schiefe und mehrgipflige Verteilungskurven, die durch Mittelwert und Standardabweichung z. T. schlecht charakterisiert werden. Wenn diese Angaben trotzdem gemacht wurden, sind sie als Approximation zu verstehen.

Die Textaufbereitung der vorliegenden Dissertation erfolgte am RRZE mit dem Textverarbeitungssystem TV (Cyber 172).

2.4 Fehlerabschätzung

2.4.1 Fehlerquellen

2.4.1.1 Probenahme

Da die Proben durch zufällige Probenahme aus einer natürlichen Population gewonnen wurden (s. Kap. 2.1), darf angenommen werden, daß bestimmte Merkmale an ihnen normalverteilt sind, d. h. die gemessenen Werte scharen sich um einen zentralen Wert, wobei die Häufigkeit der Werte umso kleiner wird, je weiter sie von diesem Zentralwert entfernt sind (DAVIS 1973:61: "It frequently is assumed that random variables are normally distributed,..."). Die Normalverteilung wird dann durch personenbedingte Schwächen modifiziert in der Form, daß der probennehmende Geologe dazu neigt, unbewußt z. B. unverwitterte oder tektonisch nicht beanspruchte Stücke zu bevorzugen. Weiterhin kann die Stelle, von der die Probe genommen werden müßte, auch unzugänglich sein, was als Fehlerquelle jedoch nicht so stark ins Gewicht fallen dürfte.

2.4.1.2 Präparation

Der Prozentsatz der Körner, die bei der Probenvorbereitung zerbrochen werden, ist gering (ZIMMERLE 1963:169). POLDERVAART (1956:524) stellte fest, daß weniger als 10 % der Körner beim Brechvorgang zerstört werden. HENNINGSEN (1967:Taf. I) ermittelte noch geringere Werte (2 - 4 %). HENNINGSEN (1967) konnte weiterhin zeigen, daß beim Brechen von zementierten Sandsteinen sich der relative Anteil der

leichteren Schwermineralien vermindert. Es scheint denkbar, daß sich auch Veränderungen in der Sortenzusammensetzung einer Mineralart ergeben können. Beispielsweise variiert die Dichte des Zirkons abhängig vom Metamiktisierungsgrad beträchtlich (3,95 - 4,65 g/Kubikzentimeter (HOLLAND & GOTTFRIED 1955)).

Auch die absolute Zahl der gewonnenen Zirkonkörner ist vom Brechvorgang nicht unabhängig. Bei der Entnahme waren die Proben nach ihrem Härtegrad klassifiziert worden. Es wurden 3 Abstufungen unterschieden: hart (splittrig), mittelhart und weich (mürbe). Es zeigte sich nun, daß die "harten" Proben im Durchschnitt weniger, die "weichen" mehr Körner lieferten, als der Durchschnitt aller Proben (Tab. 2).

Durchschnittswerte der isolierten
Zirkonkörner/Probe

	I alle I Proben	I "weiche" I Proben	I "harte" I Proben
Söse-Grauwacke	I 531	I 675	I 288
Sieber-Grauwacke	I 742	I 758	I (852)* I 561
Kammquarzit + Quarzitschiefer	I 2127	I 2755	I 1628

Tab. 2: Anzahl der isolierten Zirkonkörner/Probe
(Durchschnittswert) abhängig von der Härte
des Gesteins (* Wert in Klammern: durch
einen Extremwert unrepräsentativ hoher
Mittelwert; die andere Zahl ist der Mittelwert
nach Weglassen des Extremwertes)

Auch wurden aus den "harten" Proben durchweg kleinere Körner gewonnen als aus den weicheeren. Vermutlich haftet im Fall der harten Proben den Zirkonkörnern der Quarz in größeren Mengen so fest an, daß er durch Brechen und Mörsern nicht hinreichend entfernt wird. Ein Teil des Zirkons schwimmt dann bei der Schwerentrennung auf der Flüssigkeit und geht verloren. Die Quantifizierung dieses Verlustes bedürfte gesonderter Untersuchungen.

Die Wahl der Siebfraction 100 - 150 Mikron gründet sich auf die Feststellungen, daß

- in höheren Korngrößenbereichen der Zirkon wesentlich abgereichert ist, was generelle Erfahrungen bestätigt (RITTENHOUSE 1943; LUDWIG 1955; CALLENDER & FOLK 1958)
- die kleineren Körner u. d. M. schwer auszuwerten sind.

Außerdem scheint es nicht wünschenswert, ein zu breites Korngrößenspektrum auszuwählen, da schon innerhalb derselben Probe gewisse Eigenschaften korngößenabhängig beträchtlich variieren. Die Rundheitssgrade oder Elongationen der einzelnen Fraktionen derselben Probe können z. B. unterschiedlich sein (ARMSTRONG 1922:391; HUTTON 1950:686; WYATT 1954:987; CALLENDER & FOLK 1958:268; ZIMMERLE 1979:362). Erschwerend kommt noch hinzu, daß bei Siebungen nach dem kleinsten Durchmesser des zu siebenden Materials klassiert wird, d.h. in der Fraktion < 150 Mikron sind die Körner enthalten, deren Breite 150 Mikron nicht übersteigt (vgl. POLDERVAART 1955:457). Auch nach unten kann die Grenze nicht scharf bei 100 Mikron gezogen werden, da bevorzugt an den kleineren Zirkonkörnern noch Quarz anhaftet und somit den effektiven Durchmesser erhöht.

Es kann also damit gerechnet werden, daß sich in der Sandfraktion 100 - 150 Mikron der größte Teil des Zirkons mit Größen zwischen 70 und 250 Mikron wiederfindet.

Ausführliche Angaben zu Fehlern bei der Schwereretrennung finden sich bei BLANKENBURG & JAGUSCH (1964).

2.4.1.3 Zählung

Nach BLANKENBURG & JAGUSCH (1964:Tab. 7) ergeben sich bei der Zählung von 100 Schwermineralkörnern Vertrauensbereiche für den wahren Gehalt bis $\pm 10\%$ (bei 95 %iger Sicherheit). Zählt man zum Beispiel 50 % der Mineralart A, so kann der wahre Gehalt in 95 % aller Fälle im Bereich zwischen 40 % und 60 % liegen.

Diese Angaben zu Fehlern bei Schwermineraluntersuchungen dürften ohne weiteres auf die Zirkonanalyse zu übertragen sein.

Auf die Drift bei länger dauernden Form- und Farbbeurteilungen wurde schon in Kap. 2.3 hingewiesen. Ein eindrucksvolles Beispiel hierfür findet sich bei KALSBECK & ZWART (1967:461).

2.4.2 Anzahl der zu zählenden Körner

In der Literatur gehen die Angaben zur Anzahl der für die Zirkonanalyse zu zählenden Körner beträchtlich auseinander. Sie erklären sich teilweise durch unterschiedliches Ausgangsmaterial und Zielsetzungen. Tab. 3 gibt eine kleine Übersicht.

Anzahl der zu zählenden Körner

	I	
	I	
HUTTON (1950)	I	mindestens 400
	I	(weniger als 100 Körner ergaben
	I	kein repräsentatives Bild)
	I	
	I	
POLDERVAART (1950)	I	300
	I	
	I	
POLDERVAART (1955)	I	200
	I	
	I	
	I	
CALLENDER & FOLK (1958)	I	50
	I	
	I	
	I	
KARAKIDA (1961)	I	200
	I	
	I	
HOPPE (1962b)	I	150
	I	
	I	
HOPPE (1966a)	I	mindestens 100, die keinen frischen
	I	Bruch aufweisen
	I	
	I	

Tab. 3: Zusammenstellung der Literaturangaben über die bei Zirkonanalysen nötige Anzahl der zu zählenden Körner

Obwohl CALLENDER & FOLK (1958) ähnliche Zähl- und Darstellungsweisen wie in der vorliegenden Arbeit verwenden, wurden hier trotzdem 100 Körner gezählt (HOPPE 1966a). Übergroße Genauigkeit, wie sie erst durch Zählung von 400 bis 500 Körnern erzielt wird, scheint wegen des hohen Zeitaufwandes (bei 100 Körnern 2,5 - 3,5 Stunden für ein Präparat bei Berücksichtigung aller Merkmale) im Vergleich zum erzielten Erfolg nicht sinnvoll. Wie sich später herausstellen sollte, hätte auch die Zählung von 50 Körnern pro Präparat zu befriedigenden Ergebnissen geführt (s. Kap. 4.1.3.5).

3 Überblick über den Inhalt an transparenten Schwermineralien

3.1 Sieber Grauwacke

Nach den Ergebnissen von RABITZSCH & GRÜGER (1968:Abb. 2) sind die transparenten Schwermineralien von Äquivalenten der Sieber-Grauwacke durch einen hohen Anteil der beständigen Fraktion Zirkon-Turmalin-Rutil (ZTR) gekennzeichnet. Daneben treten auch beträchtliche Granat- und Epidot-Gehalte auf (Tab. 4).

	Probenlokalität	
	Pahnberg (%)	Stbr. Spitzenberg (%)
Zirkon	37,4	58,9
Turmalin	0,2	6,0
Rutil	10,8	20,4
Epidot	23,7	4,5
Granat	27,7	10,2
Anatas	0,2	-

Tab. 4: Schwermineralgehalte von Äquivalenten der Sieber-Grauwacke (nach RABITZSCH & GRÜGER 1968:Abb. 2)

Abschätzungen des Verfassers bestätigten diese Angaben. Die höheren Angaben zum Granatgehalt (bis ca. 50 % der transparenten Schwermineralien) dürften der Wirklichkeit näher kommen. Die Granatgehalte könnten leicht durch junge, oberflächennahe Verwitterung vermindert worden sein (vgl. DRYDEN & DRYDEN 1946). Fast immer vorhandene, gut entwickelte Anätzungen sind möglicherweise aber auch schon bei Verwitterung und Transport der Ausgangsgesteine entstanden. Intraformationelle Anlösung scheidet wohl aus (NICKEL 1973:56).

3.2 Kammquarzit

Der Kammquarzit ist gekennzeichnet durch das Vorherrschen der beständigen Fraktion ZTR. Frühere Untersuchungen (TRAUTNITZ 1978) ergaben:

	I Durchschnitt aus I	I Standard-
	I 35 Proben (%) I	I abweichung I
Zirkon	52,1	4,4
Turmalin	32,6	3,1
Rutil	7,7	1,9
Sonstige	7,6	4,3

Tab. 5: Schwermineralinhalt des Kammquarzits
(nach TRAUTNITZ 1978)
Durchschnittswerte und Standardabweichungen
aus 35 Proben

Als sonstige Schwerminerale wurden identifiziert: Epidot, Granat, Anatas und Siderit. BURCHARDT (1977a) beschreibt noch Apatit, Hornblende, Brookit und Disthen. Apatit konnte hier wegen der Salzsäure-Behandlung nicht nachgewiesen werden. Die übrigen Schwerminerale wurden nicht beobachtet.

3.3 Söse-Grauwacke

Weitaus über 90 % der transparenten Schwerminerale werden vom Zirkon eingenommen. Turmalin und Rutil sind selten (ca. 1 - 3 %). Vereinzelt treten auch Granat und Epidot auf, die nur gelegentlich höhere Prozentbeträge erreichen. Diese Abschätzungen stehen in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen REUTER's (1964) an Grauwacken aus dem Raum Magdeburg, die wohl als Äquivalente der Söse-Grauwacke anzusehen sind (Tab. 6).

	I	Gehalt (%)
	I	
Zirkon	I	ca. 80 - 95
	I	
Turmalin	I	ca. 3 - 18
	I	
Rutil	I	ca. 0 - 3
	I	
Sonstige	I	ca. 0 - 4
	I	

Tab. 6: Schwermineralinhalt von Grauwacken bei Magdeburg (wohl Äquivalente der Söse-Grauwacke) (Zahlenwerte entnommen aus REUTER (1964:42))

4 Ergebnisse der Zirkonanalyse

4.1 Äußere Form und Farbe der Zirkonkörner

4.1.1 Umriss und Rundheit

Das augenfälligste, von kaum einem Zirkonanalytiker unbeschriebene jedoch selten quantifizierte Merkmal, ist die äußere Form, der Umriss der Körner.

Zur Beschreibung der Rundheit wurde das von RUSSEL & TAYLOR (1937) gegebene Schema geringfügig modifiziert (Abb. 6) und zur visuell schätzenden Klassifikation herangezogen. Zu bedenken ist, daß hierbei nur bedingt eine Einteilung nach genetischen Gesichtspunkten stattfindet, da die Rundheit durch mancherlei Rundungsvorgänge hervorgerufen werden kann (vgl. Kap. 1.3.1). Die Einordnung in die Rundheitsklassen gestaltet sich u. U. schwierig, da fließende Übergänge zwischen allen Klassen existieren, worauf schon KALSBECK & ZWART (1967:459) hinwiesen.

Die Abb. 7 - 11 zeigen die Häufigkeitsverteilungen der relativen Verteilung der Rundheitsgrade.

Rundheitsgrad A (idiomorphe Kristalle)(Abb. 7)

Die Grauwacken weisen einen wesentlich höheren Anteil an idiomorphen Kristallen auf als die Quarzite, wobei sich ihre Verteilungskurven teilweise überschneiden. Die Kurven von Kammquarzit und Quarzitschiefer sind praktisch identisch.

Rundheitsgrad B (subidiomorphe Kristalle)(Abb. 8)

Bei den subidiomorphen Körnern liegen die relativen Anteile der Grauwacken ebenfalls höher, wobei die Söse-Grauwacke zu höheren Werten tendiert. Die Quarzite lieferten wiederum niedrige Werte.

Rundheitsgrad C (unregelmäßig runde Körner)(Abb. 9)

Hier zeigen - bei ähnlichen Kurven - die Grauwacken die kleineren Anteile. Bei den Quarziten tritt eine bemerkenswerte Zweigipfligkeit der Kurve auf (s. u.).

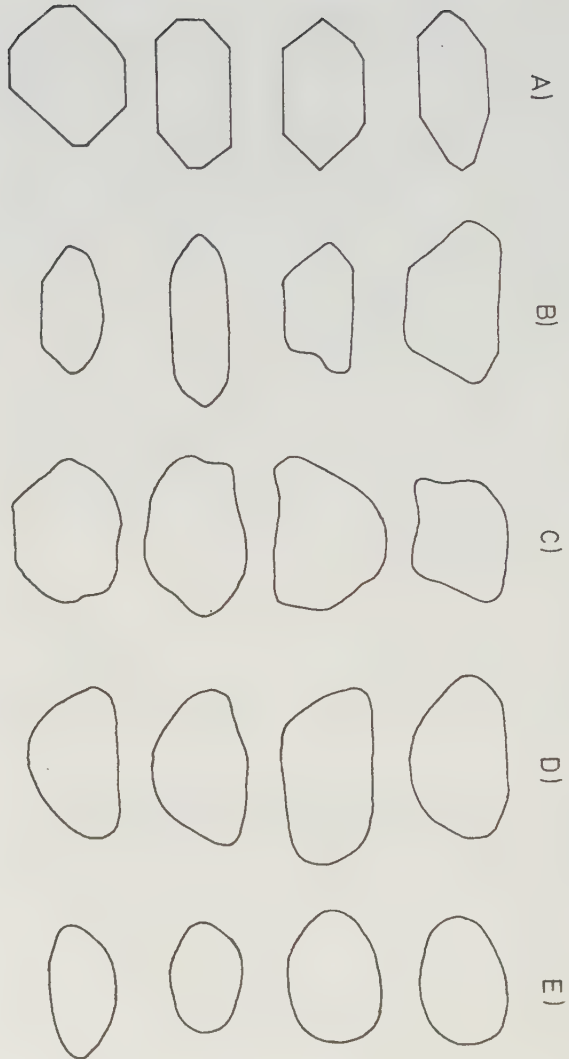


Abb. 6: Vergleichsbild für die Rundheitssgrade A - E (D und E nach RUSSEL & TAYLOR 1937)

A) idiomorphe Kristalle B) subidiomorphe Körner C) unregelmäßig runde Körner D) runde Körner E) vollkommen runde Körner

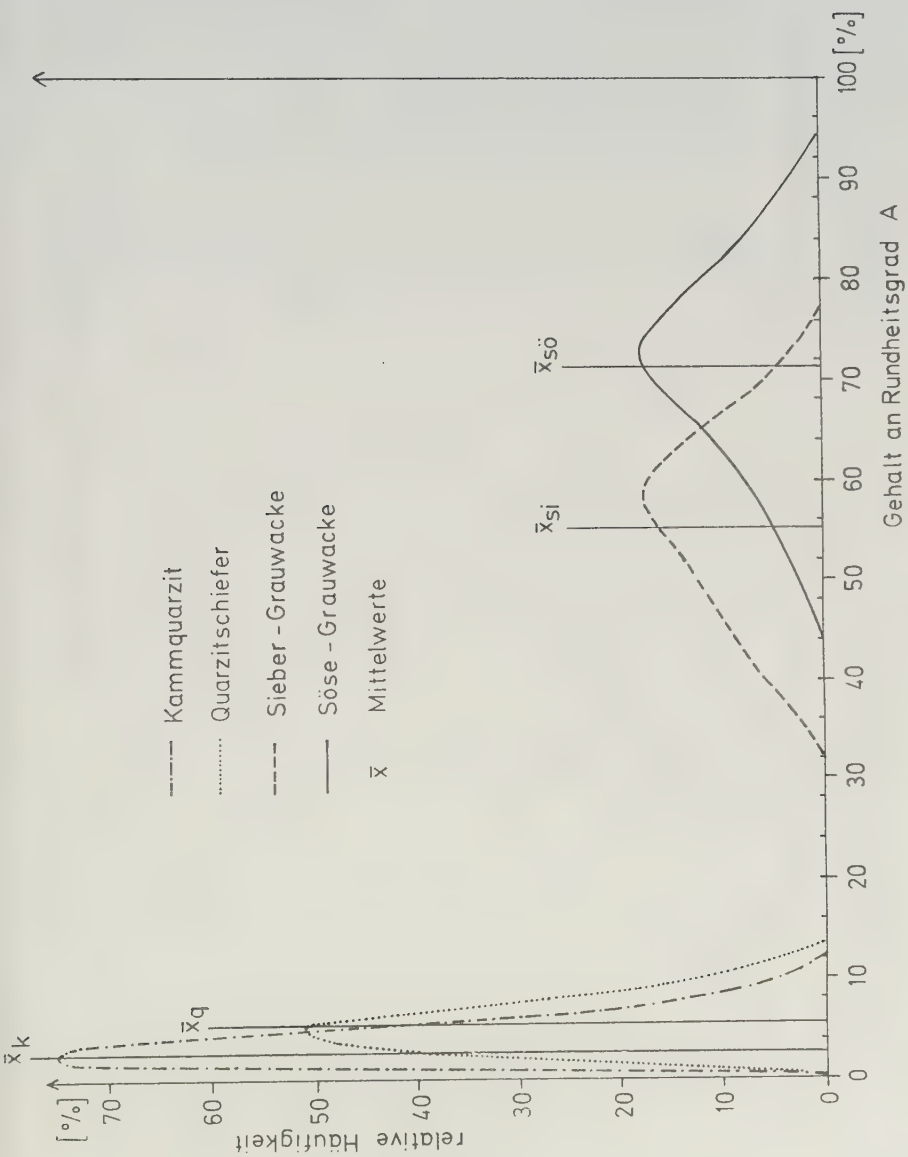


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung der Gehalte (%) an Rundheitsgrad A (idiomorphe Kristalle)

Legende für beide Abb.: s. Abb. 7

- 36 -

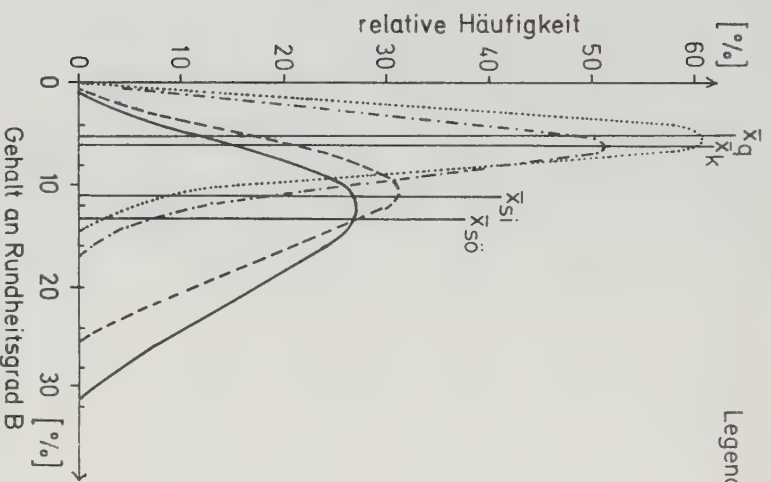


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung der Gehalte (%) an Rundheitsgrad B (subidiomorphe Körner)

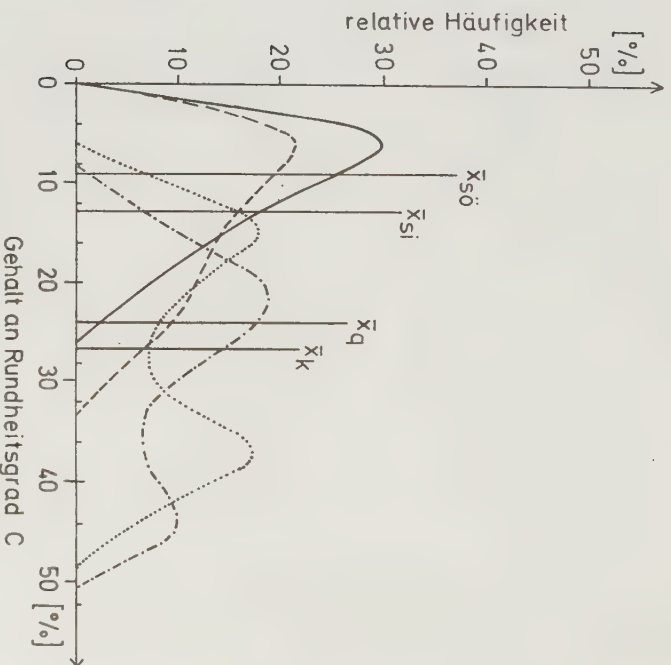


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der Gehalte (%) an Rundheitsgrad C (unregelmäßig runde Körner)

Legende für beide Abb.: s. Abb. 7

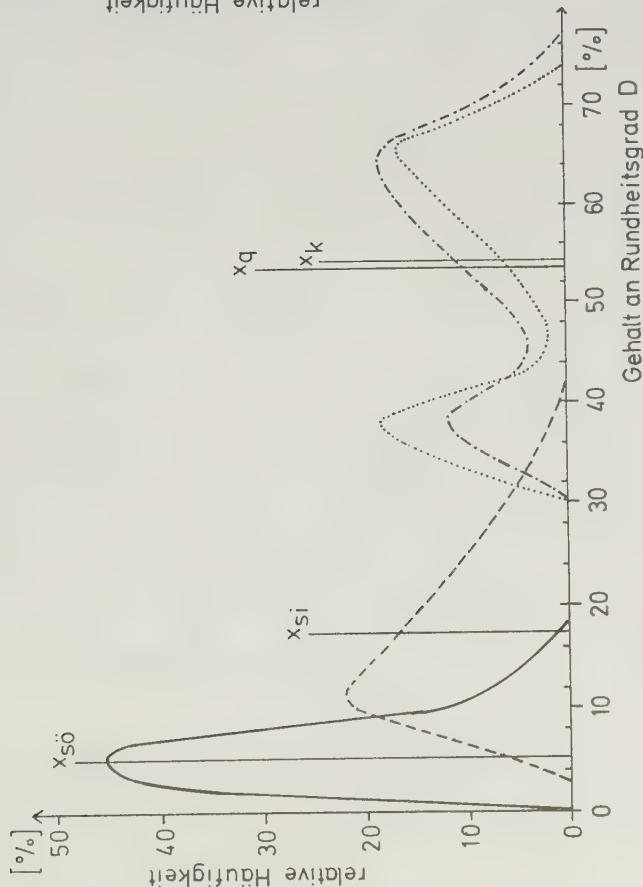


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung der Gehalte (%) an Rundheitsgrad D (runde Körner)

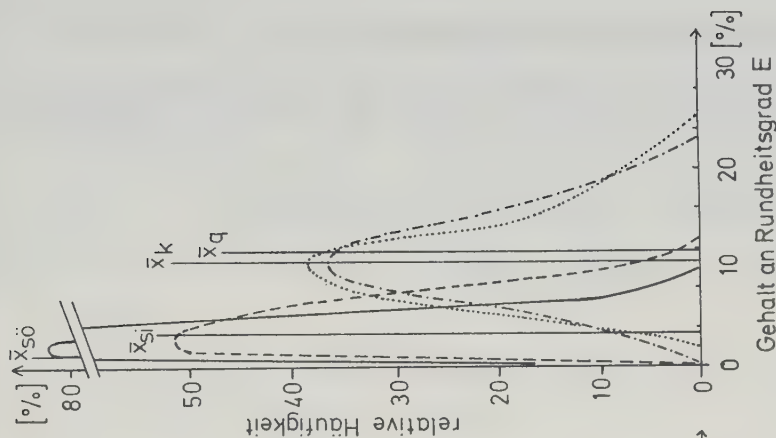


Abb. 11: Häufigkeitsverteilung der Gehalte (%) an Rundheitsgrad E (vollkommen runde Körner)

Rundheitsgrad D (runde Körner) (Abb. 10)

Die Gehalte an runden Körnern sind bei der Sieber-Grauwacke niedrig, und bei der Söse-Grauwacke minimal. Die Quarzite zeigen wiederum eine Zweigipfligkeit der Verteilungskurve.

Rundheitsgrad E (vollkommen runde Körner) (Abb. 11)

Vollkommen runde Körner sind bei den Grauwacken selten. Die Quarzite zeigen ca. 2 - 3 mal höhere Anteile.

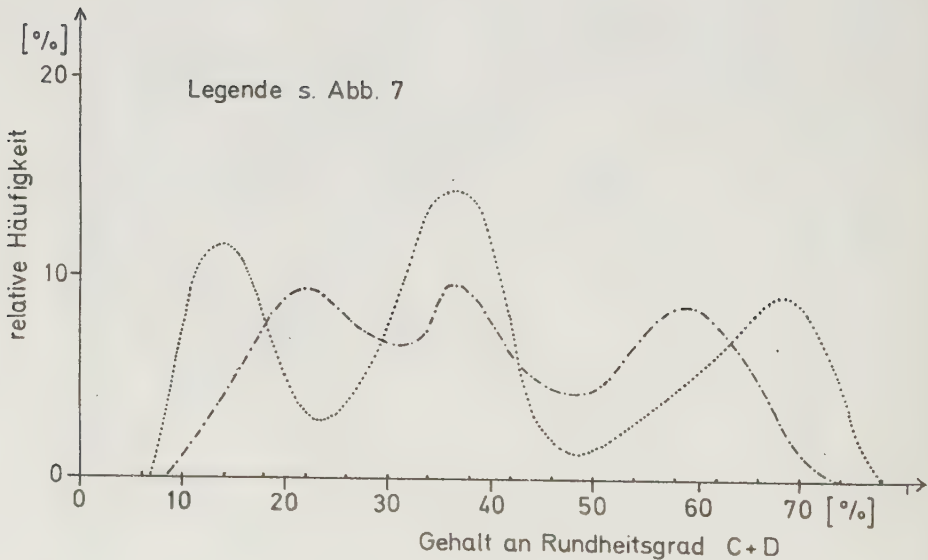


Abb. 12: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Rundheitsgrad C + D (unregelmäßig runde und runde Körner)

Rundheitsgrad C + D (unregelmäßig runde + runde Körner) (Abb. 12)

Beim Vergleich der Kurven der Rundheitsgrade C und D (Abb. 9, 10) zeigt sich, daß das rechte Maximum der Abb. 9 und das linke der Abb. 10 zusammenfallen. In Abb. 12 ist die Summe der Kurven der Abb. 9 und 10 dargestellt. Diese Verteilungskurve ist nun dreigipflig. Eine sinnvolle Erklärung für die Mehrgipfligkeit konnte nicht gefunden werden. Möglicherweise liegt die Ursache in der visuell schätzenden Methodik.

Ergebnis

Die Söse-Grauwacke besitzt den höchsten Anteil an idiomorphen Zirkonkörnern, während er bei der Sieber-Grauwacke etwas darunter liegt. In Kammquarzit und Quarzitschiefer sind sie sehr selten. Runde Körner sind analog in den Grauwacken selten; in den Quarziten stellen sie die Hauptmenge.

4.1.2 Farbe

Von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist die Färbung der Zirkonkörner (vgl. Kap. 1.3.4). Jedes Korn wurde gemäß seiner Farbe in eine der neun Klassen (im folgenden als Farbzahlen bezeichnet) eingeordnet.

- 1) farblos-klar
- 2) getönt
- 3) bräunlich
- 4) braun
- 5) trübe, grau
- 6) opak
- 7) leicht rosafarben
- 8) rosafarben
- 9) kräftig rosa

Die Häufigkeitsverteilungen der relativen Verteilungen der Farbzahlen sind in den Abb. 13 - 21 dargestellt.

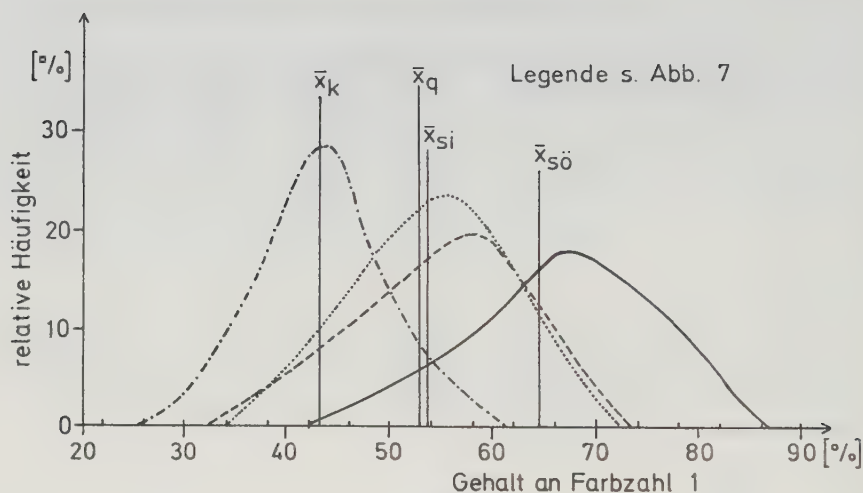


Abb. 13: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%)
an Farbzahl 1 (farblos-klarer Zirkon)

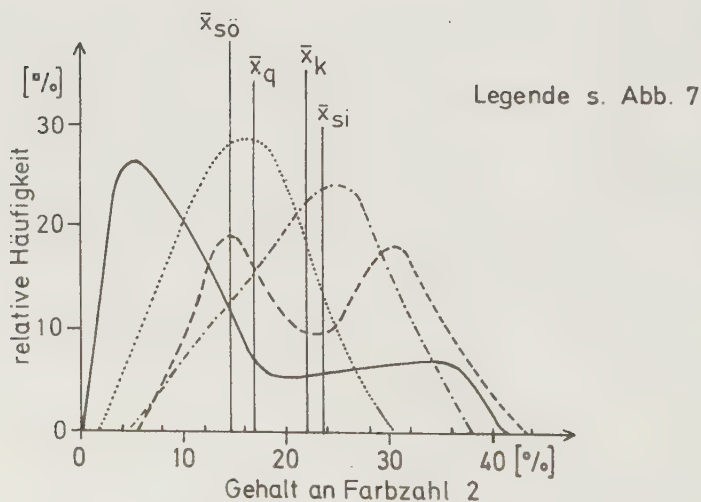


Abb. 14: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%)
an Farbzahl 2 (getönter Zirkon)

Legende für beide Abb.:
s. Abb. 7

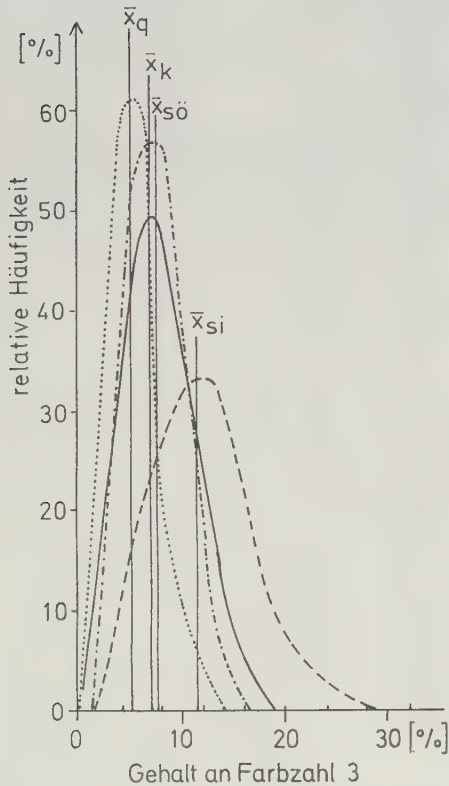


Abb. 15: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Farbzahl 3 (bräunlicher Zirkon)

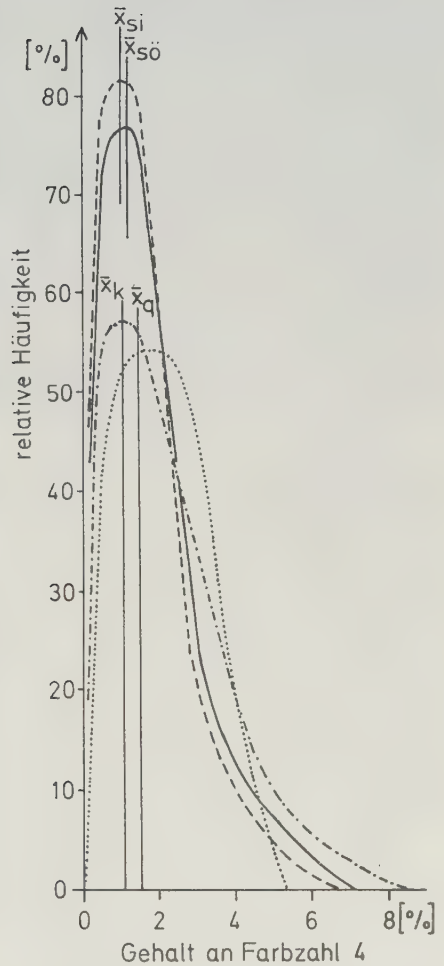


Abb. 16: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Farbzahl 4 (brauner Zirkon)

Legende für beide Abb.:
s. Abb. 7

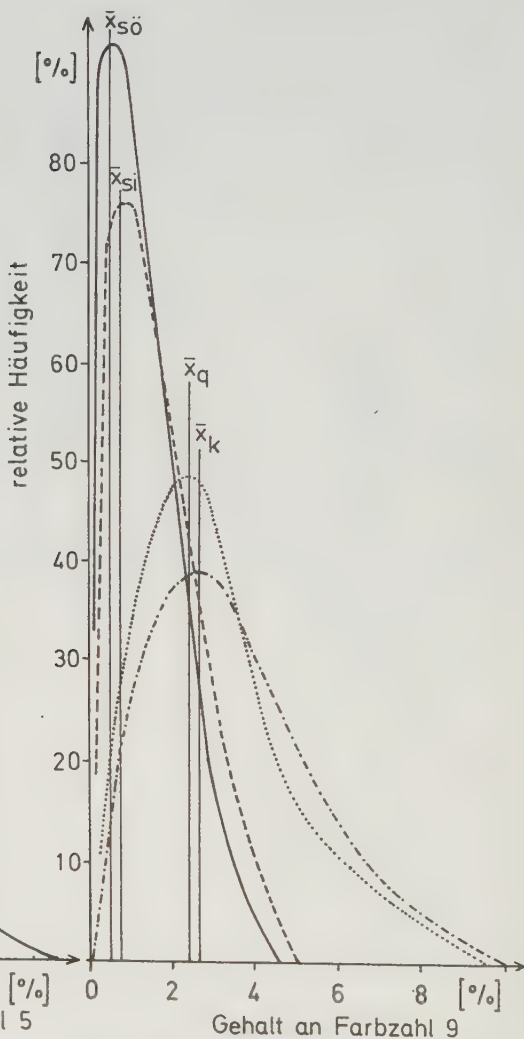
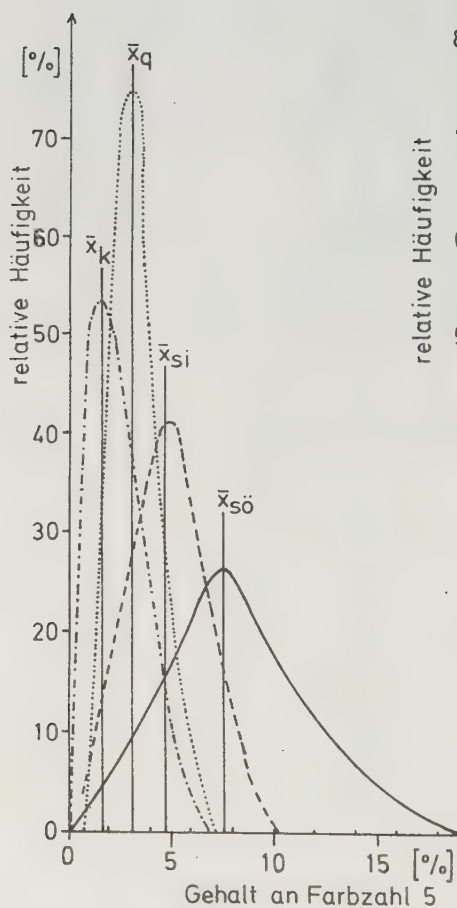


Abb. 17: Häufigkeitsverteilungen
der Gehalte (%) an
Farbzahl 5 (trüb-
grauer Zirkon)

Abb. 18: Häufigkeitsverteilungen
der Gehalte (%) an
Farbzahl 9 (kräftig
rosafarbener Zirkon)

Legende für alle Abb.: s. Abb. 7

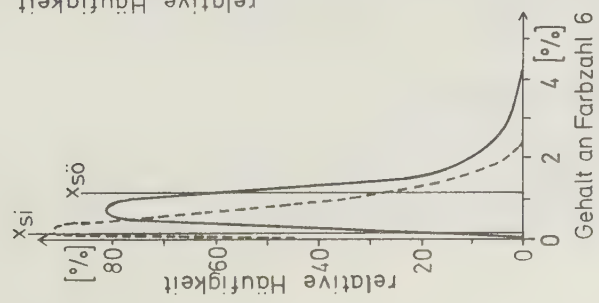


Abb. 19: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Farbzahl 6 (opaker Zirkon)

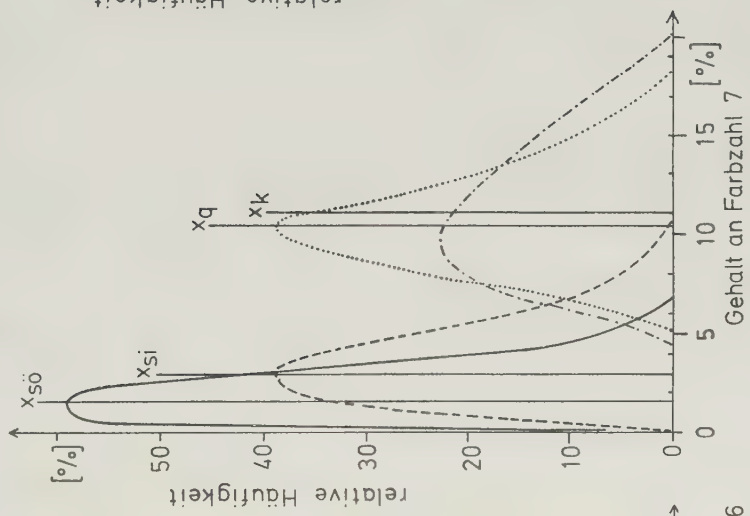


Abb. 20: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Farbzahl 7 (leicht rosafarbener Zirkon)

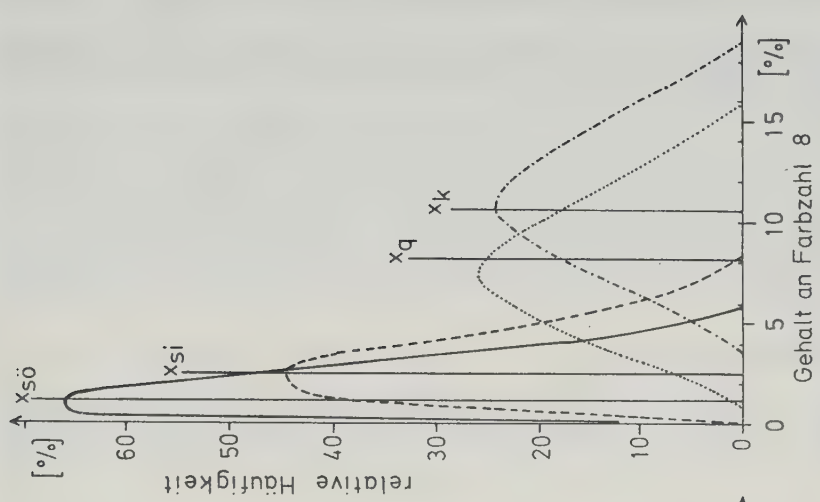


Abb. 21: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Farbzahl 8 (rosafarbener Zirkon)

Farbzahl 1 (farblos-klar)(Abb. 13)

Die Grauwacken zeigen die höheren Gehalte, wobei die Söse-Grauwacke die Maximalwerte lieferte. Der Kammquarzit besitzt die niedrigsten Anteile an farblosen Körnern.

Die Kurven von Quarzitschiefer und Sieber-Grauwacke sind weitgehend identisch. Dieses Phänomen wird als Korngrößeneffekt gedeutet. Generell sind nämlich die Körnungen der Quarzitschiefer-Quarzite kleiner als die des Kammquarzits und somit auch die Korngrößen der Zirkonkörner. Infolgedessen werden bei der Beurteilung mehr Körner der Farbzahl 1 zugeschlagen, die - bei größerem Korndurchmesser eigentlich der Farbzahl 2 angehören. Wie zu erwarten ist, enthält der Quarzitschiefer dann geringere Anteile an Farbzahl 2 (Abb. 14).

Farbzahl 2 (getönt)(Abb. 14)

Es zeigen sich keine deutlichen Tendenzen. Die Verteilungskurve der Sieber-Grauwacke ist zweigipflig, und der rechte Kurventeil zieht sich bei der Söse-Grauwacke flach zu den höheren Werten hinauf. Wahrscheinlich repräsentieren diese Kurventeile Gehalte, die noch der Farbzahl 1 angehören (Korngrößeneffekt, s. o.). Auf die niedrigen Anteile des Quarzitschiefers im Vergleich zum Kammquarzit wurde schon bei Farbzahl 1 eingegangen.

Farbzahl 3 (bräunlich)(Abb. 15)

Nur die Sieber-Grauwacke tritt durch höhere Gehalte an bräunlichen Körnern hervor. Die Quarzite tendieren zu den niedrigsten Werten.

Farbzahl 4 (braun)(Abb. 16)

Braune Körner finden sich bei den Grauwacken selten. Bei den Quarziten sind sie häufiger.

Farbzahl 5 (trübe, grau)(Abb. 17)

Graue und trübe Körner sind nur in den Grauwacken in nennenswerten Teilen vorhanden. Sie stellen zum großen Teil metamiktisierte Kristalle dar.

Farbzahl 6 (opak)(Abb. 19)

Falls opake Körner auf Grund der Form als Zirkon identifiziert werden konnten, handelt es sich meist um vollständig metamiktisierte (isotropisierte) Körner. In den Quarziten kommen sie praktisch nicht vor. Die Söse-Grauwacke tendiert zu den höheren Werten.

Farbzahl 7 (leicht rosafarben)(Abb. 20)

Leicht rosafarbene Körner treten in der Söse-Grauwacke kaum, in der Sieber-Grauwacke wenig und in den Quarziten zu nennenswerten Anteilen auf.

Farbzahl 8 (rosafarben)(Abb. 21)

Die Verteilungskurven der rosafarbenen Körner ähneln weitgehend denjenigen der Abb. 20. Die im Vergleich zum Kammquarzit geringeren Anteile des Quarzitschiefers dürften wieder als von der Korngröße verursacht zu interpretieren sein (vgl. Farbzahl 1, 2).

Farbzahl 9 (kräftig rosa)(Abb. 18)

Kräftig rosafarbene Körner (Hyacinth) sind in den Grauwacken nur zu geringen Anteilen vorhanden. Die Gehalte liegen in den Quarziten um das Doppelte bis Dreifache höher.

Ergebnis

Die Farbkompositionen der Zirkone in den untersuchten lithologischen Komplexen unterscheiden sich beträchtlich:

Die Söse-Grauwacke ist gekennzeichnet durch sehr hohe Anteile an farblosen Zirkonkörnern. Bei der Sieber-Grauwacke verdienen erhöhte Gehalte an hell bräunlichem Zirkon Beachtung.

Die Quarzite hingegen enthalten viel rosafarbenen Zirkon.

Es empfiehlt sich, nicht zwischen den Farbzahlen 7 - 9 (leicht rosafarben bis Hyacinth) zu unterscheiden, da die Verteilungskurven (Abb. 18, 20, 21) weitgehend ähnlich sind, und somit keine zusätzliche Information gewonnen wird. Man kann weiterhin feststellen, daß die farblosen Zirkone in der Mehrzahl idiomorph sind, da die Grauwacken gleichzeitig die höchsten Gehalte sowohl an farblosen als auch an idiomorphen Kristallen zeigen (vgl. Kap. 4.1.5).

4.1.3 Zirkon-Rundheitsindex und -Farbindex

4.1.3.1 Rundheitsindex

Für jede Probe wurde aus den relativen Verteilungen der Rundheitsgrade ein Rundheitsindex (RI) berechnet nach folgender Formel (nach RUSSEL & TAYLOR 1937 (modifiziert)):

$$\text{RI} = (1 \cdot A(\%) + 2 \cdot B(\%) + 3 \cdot C(\%) + 9 \cdot D(\%) + 10 \cdot E(\%)) / 100(\%)$$

Die hohen Rundheitsgrade D und E sind hier stärker gewichtet als bei RUSSEL & TAYLOR (1937). Hierdurch wird im Diagramm eine deutlichere Trennung der Indexbereiche der Grauwacken erzielt (vgl. Kap. 4.1.3.4). Natürlich darf das Gewicht der Rundheitsgrade D und E nicht beliebig erhöht werden, da sonst Unterschiede vorgetäuscht werden können.

Häufigkeitsverteilung der Rundheitsindices (Abb. 22)

Entsprechend dem höchsten Gehalt an idiomorphen Körnern zeigt die Söse-Grauwacke die niedrigsten Rundheitsindices. Ihre Verteilungskurve überschneidet sich teilweise mit der der Sieber-Grauwacke, die aber im Durchschnitt doppelt so hohe Werte annimmt. Ihren hohen Gehalten an runden Zirkonen zufolge sind die Werte der Quarzite von denen der Grauwacken deutlich abgesetzt. Die Kurven von Kammquarzit und Quarzitschiefer sind praktisch identisch.

Regionale Verteilung der Rundheitsindices (Abb. 24)

Im Kartenbild (Abb. 24) zeigen sich die Grenzen zwischen den lithologischen Komplexen deutlich. Innerhalb der Einheiten sind keine sichtbaren Trends vorhanden.

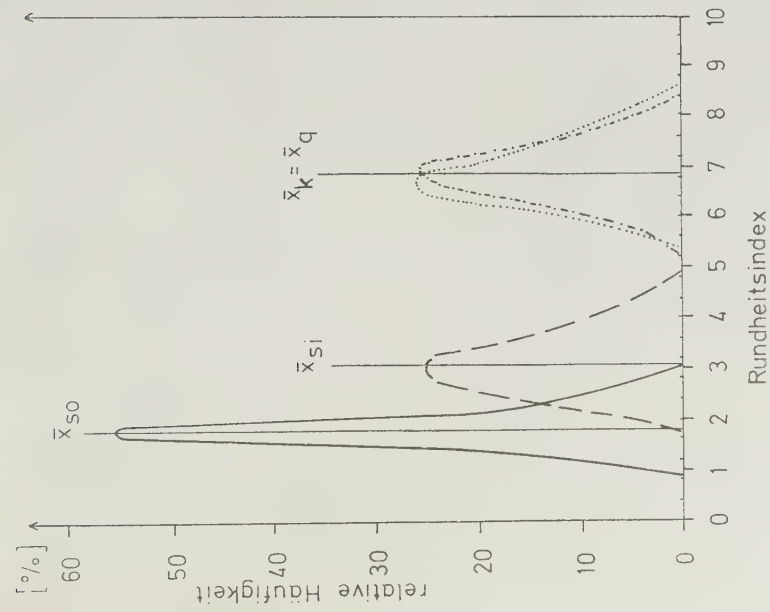


Abb. 22: Häufigkeitsverteilung der Rundheitsindizes

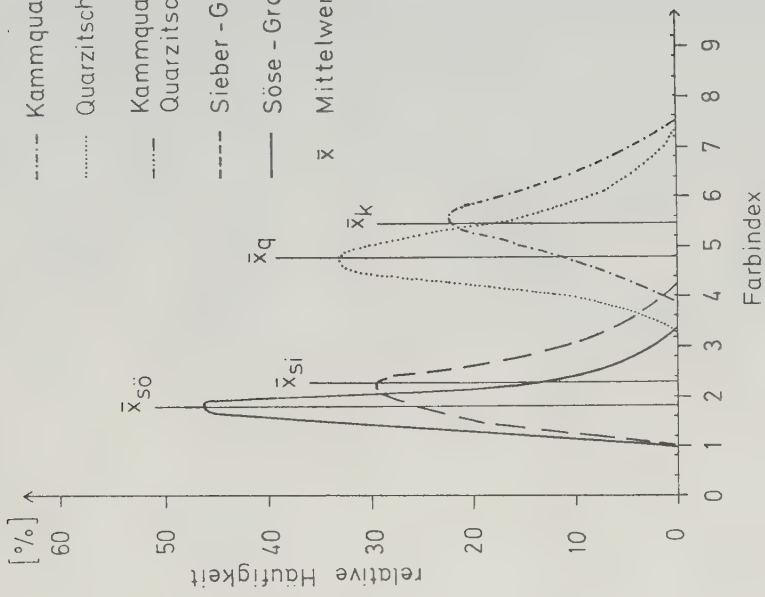


Abb. 23: Häufigkeitsverteilung der Farbindices

USFM

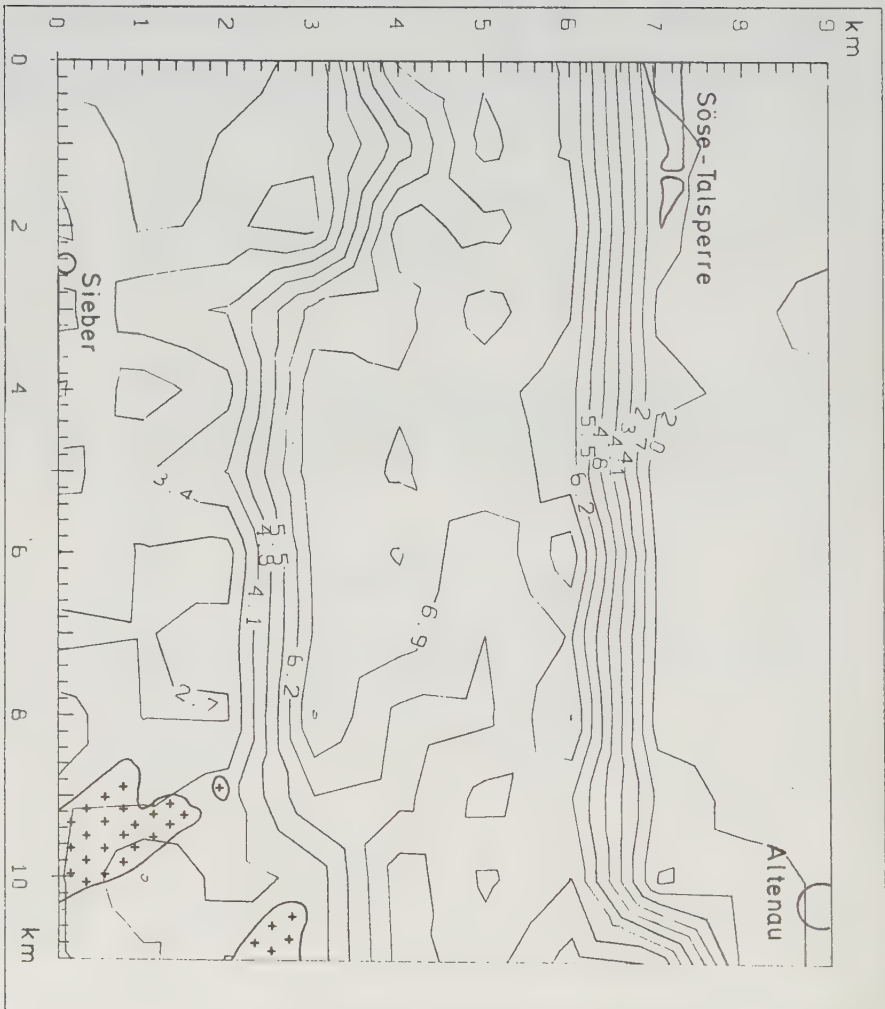


Abb. 24: Rundheitsindex-Isolinienkarte

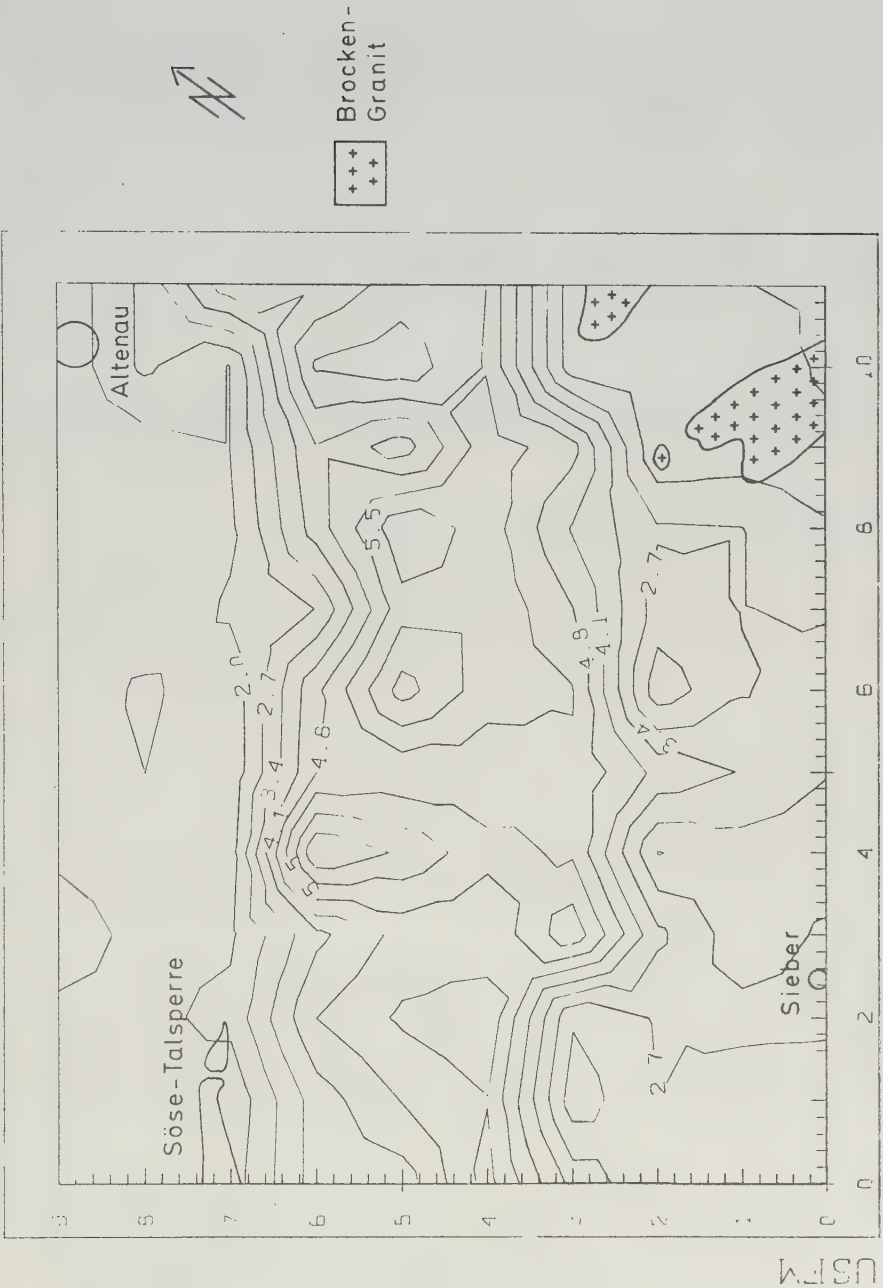


Abb. 25: Farbindex-Isolinienkarte

4.1.3.2 Farbindex

Analog wurde aus den relativen Verteilungen der Farbzahlen ein Farbindex (FI) berechnet:

$$FI = (1*1(\%) + 1*2(\%) + 2*3(\%) + 2*4(\%) + 3*5(\%) + 3*6(\%) + 18*7(\%) + 19*8(\%) + 20*9(\%))/100(\%)$$

Die rosafarbenen Zirkone erhielten das höchste Gewicht, wodurch die Trennung in den Indexbereichen der Grauwacken verbessert wurde (vgl. Kap. 4.1.3.4).

Häufigkeitsverteilung der Farbindices (Abb. 23)

Wie aus der Verteilung der Farbzahlen (Kap. 4.1.2) zu erwarten ist, zeigen die Söse-Grauwacke die niedrigsten, die Sieber-Grauwacke etwas höhere, und die Quarzite die höchsten Werte. Die Farbindices des Quarzitschiefers tendieren zu den niedrigeren Werten, was wohl als Folge des Korngrößeneffektes zu deuten ist (vg. Kap. 4.1.2).

Regionale Verteilung der Farbindices (Abb. 25)

Die Farbindices verhalten sich im Kartenbild (Abb. 25) ähnlich wie die Rundheitsindices.

Im Quarzitschiefer-Faziesbereich liegen die Farbindices durchweg etwas niedriger als bei Kammquarzit. Z.B. springt die 4,8-Isolinie in den W' Bereichen deutlich nach S vor. Ursache ist wohl der Korngrößeneffekt (s.o.).

Bedeutsam ist, daß Proben der Sieber-Grauwacke (S 32, S 34 - S 40) aus dem unmittelbaren Kontaktbereich des Brocken-Granits (Abb. 25) deutlich niedrigere Farbindices zeigen ($\bar{x} = 1,64$) als die anderen Proben ($\bar{x} = 2,43$). Dieses Verhalten darf sicher als beginnende Entfärbung der rosafarbenen Zirkone unter dem Temperatureinfluß des Brocken-Granits gedeutet werden (vgl. GASTIL et al. 1967). Die Temperatur dürfte bei mindestens 200 - 300 Grad Celsius gelegen haben (vgl. Kap. 1.3.4).

4.1.3.3 Rundheitsindices aufgegliedert nach Farbzahlen

Zusätzlich wurden noch die Rundheitsindices für einzelne Farbzahlen berechnet. Im Diagramm der Abb. 26 sind die Häufigkeitsverteilungen der Rundheitsindices für die Farbzahlen 1+2 dargestellt. Sie unterscheiden sich kaum von den Häufigkeitsverteilungen der Rundheitsindices für alle Körner, weil die farblosen Zirkone den Hauptanteil stellen.

Abb. 27 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Rundheitsindices für die rosafarbenen Zirkone (Farbzahlen 7+8+9). Die Verteilungskurven der Grauwacken sind wenig aussagekräftig, da die Rundheitsindices auf Grund der geringen Anzahl der rosafarbenen Körner stark streuen. Beim Kammquarzit ist zu beachten, daß bei einem Rundheitsindex von ca. 8,3 ein zweites Maximum vorhanden ist, das im Diagramm der Abb. 26 nicht auftaucht. Die gleiche Beobachtung machte Verfasser an 35 anderen Kammquarzitproben (TRAUTNITZ 1978:Abb. 74). Dieses Verhalten kann als Korngrößeneffekt gedeutet werden, da die rosafarbenen Zirkone im allgemeinen größer sind als die farblosen (HUTTON 1950:689; HOMRIGHAUSEN 1979:63) und die größeren Körner manchmal höhere Rundheiten zeigen (HUTTON 1950:686). Eine zweite Deutungsmöglichkeit wäre, daß es sich bei den rosafarbenen Zirkonen um die ältesten, dem Kreislauf (Abb. 4) am häufigsten unterworfenen Körner handelt (TYLER 1940; MORGAN & AUER 1941; TOMITA 1954; ZIMMERLE 1972).

Auf jeden Fall ist der Rundheitsindex der rosafarbenen Körner durchweg höher als der der farblosen (Abb. 28). Es überschneiden sich hier die Indexbereiche der Grauwacken kaum. Zudem sind sie deutlich von denjenigen der Quarzite abgesetzt. Die Rundheitsindices der rosafarbenen Körner der Grauwacken streuen stark, was seine Ursache im relativ geringen Gehalt an rosa Zirkon haben dürfte. Gleichzeitig fällt auf, daß die Grauwackenproben, aus denen weniger als 100 Zirkonkörner isoliert werden konnten, hinsichtlich der Rundheitsindices der rosafarbenen Körner generell niedrige Werte lieferten. Rosafarbene Zirkone mit hohen Rundheitsgraden sind hier also abgereichert. Da diese Proben durchweg kleinere Zirkonkörner lieferten (möglicherweise eine Folge des Präparationsverfahrens (vorwiegend "harte" Proben; vgl. Kap. 2.4.1.2)), interpretiert Verfasser dieses Verhalten als Korngrößeneffekt.

4.1.3.4 Rundheitsindex/Farbindex

Zwecks übersichtlicher Darstellung wurden Rundheits- und Farbindex gegeneinander aufgetragen (Abb. 29). Die Verteilungsfelder der Quarzite sind nahezu identisch und deutlich von denen der Grauwacken getrennt. Die Bereiche der Grauwacken überlappen sich geringfügig. Nur zwei Extremwerte der Söse-Grauwacke liegen im Feld der Sieber-Grauwacke.

Zusätzlich sind noch Proben aus dem Liegenden des Kammquarzits (Glimmerquarzit, Ortberg-Sandstein) und vom Kammquarzit der Hörre dargestellt. Glimmerquarzit und Ortberg-Sandstein liegen außerhalb der Bereiche aller anderen Formationen und fallen unter die niedrigsten Farbindices. Der Kammquarzit der Hörre liegt im Bereich des Acker-Kammquarzits. Die Wichtung der Rundheitsindices nach der For-

Legende s. Abb. 23

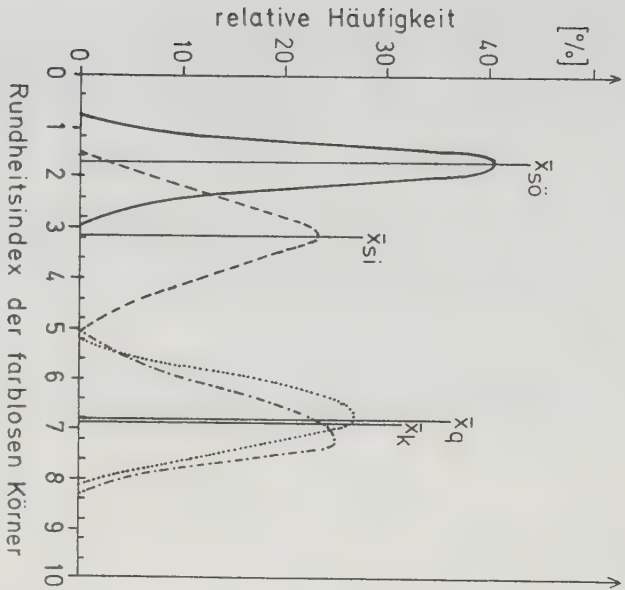


Abb. 26: Häufigkeitsverteilungen der Rundheitsindices der farblosen Körner

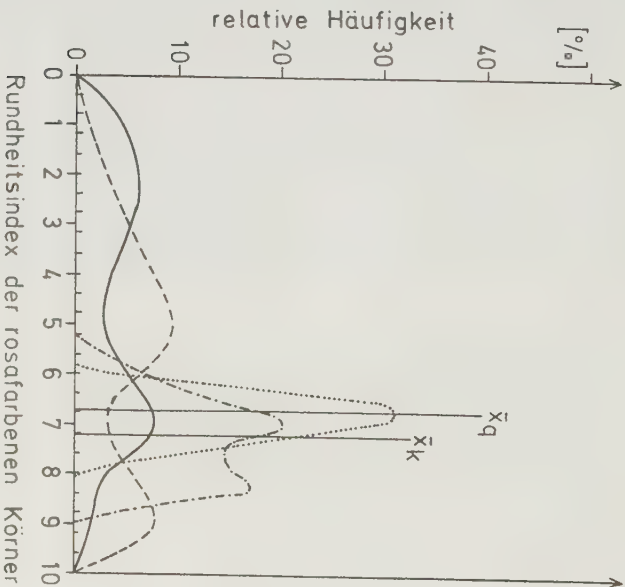


Abb. 27: Häufigkeitsverteilungen der Rundheitsindices der rosafarbenen Körner

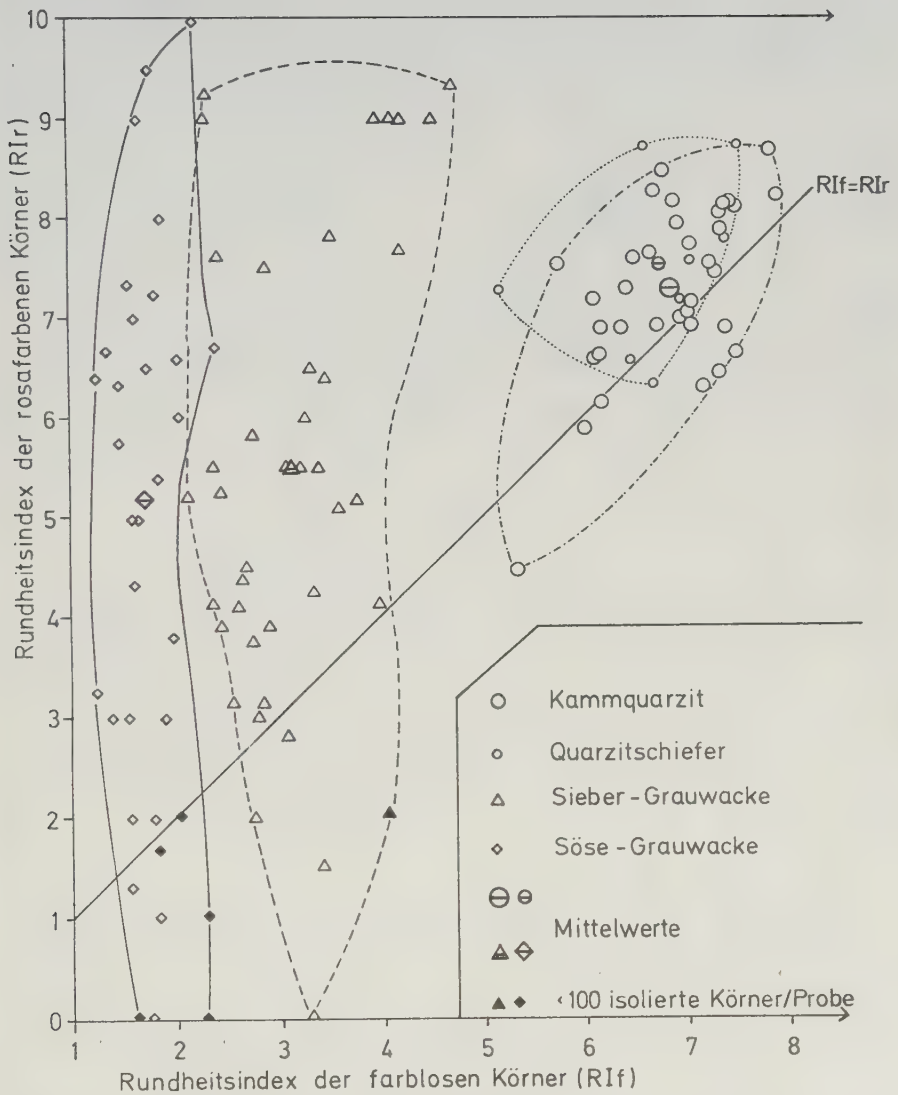


Abb. 28: Rundheitsindex der rosafarbenen Körner in Abhängigkeit vom Rundheitsindex der farblosen Körner (ein Symbol entspricht einer Probe)

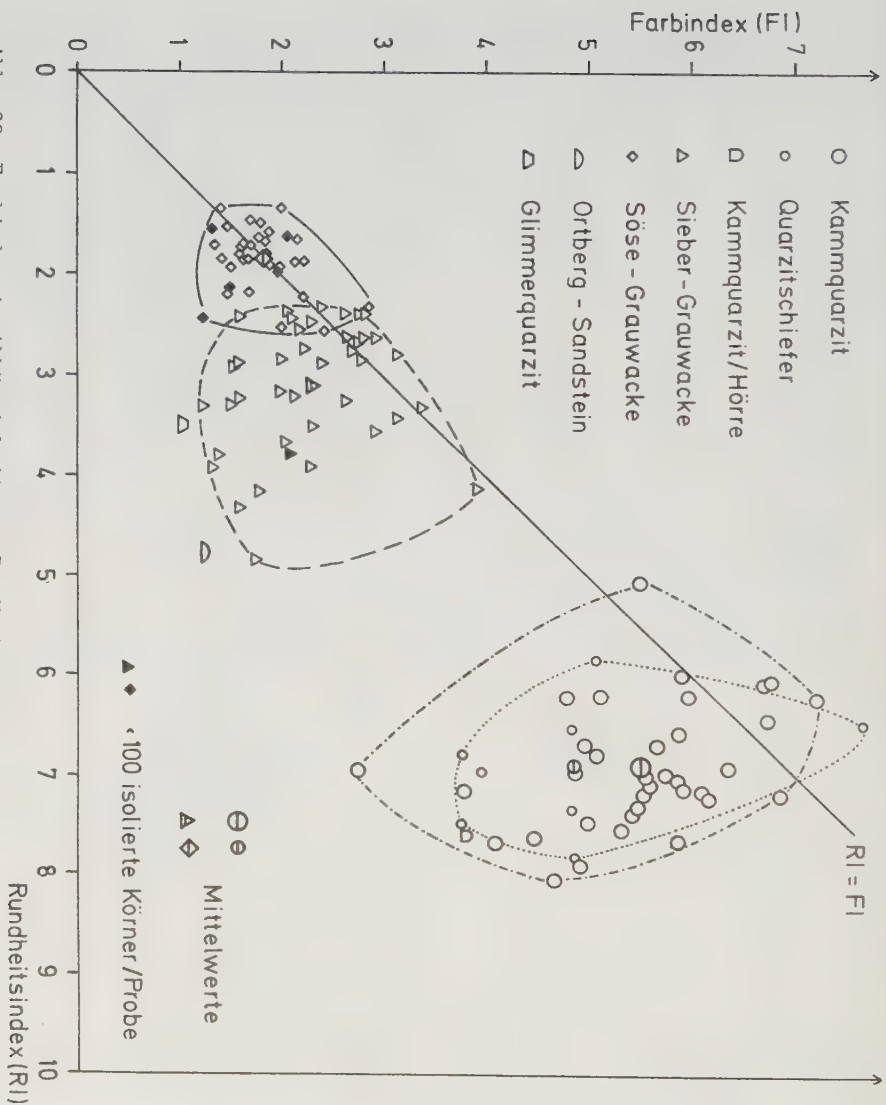


Abb. 29: Farbindex in Abhängigkeit vom Rundheitsindex
(ein Symbol entspricht einer Probe (100 Körner))

mel von RUSSEL & TAYLOR (1937) ($RI = (1 \cdot A(\%) + 2 \cdot B(\%) + 3 \cdot C(\%) + 4 \cdot D(\%) + 5 \cdot E(\%))/100(\%)$) und eine niedrigere Wichtung der rosafarbenen Zirkone (Formel: $FI = (1 \cdot 1(\%) + 2 \cdot 2(\%) + 3 \cdot 3(\%) + 4 \cdot 4(\%) + 5 \cdot 7(\%)(\text{leicht rosa}) + 6 \cdot 8(\%)(\text{rosafarben}) + 7 \cdot 9(\%)(\text{kräftig rosa}) + 8 \cdot 5(\%)(\text{trübe, grau}) + 9 \cdot 6(\%)(\text{opak}))/100(\%)$) ergibt eine undeutlichere Trennung der Indexbereiche der Grauwacken (Abb. 30).

Ergebnis

Die Rundheits- und Farbindices der Zirkonkörner bieten eine gute Möglichkeit, die unterschiedlichen lithologischen Komplexe zu trennen bzw. ihre Zusammengehörigkeit im Falle des Kammquarzits und des Quarzitschiefers zu zeigen.

Man erreicht eine übersichtliche Darstellung, wenn Rundheitsindex und Farbindex im rechtwinkligen Koordinatensystem gegeneinander aufgetragen werden.

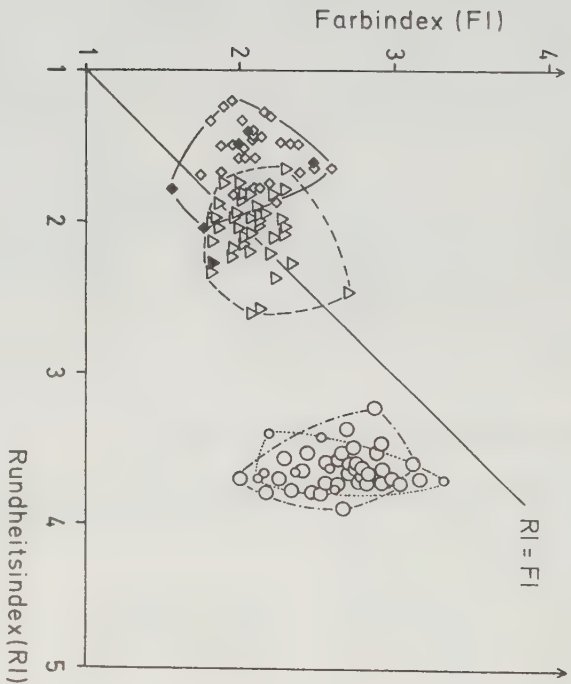
4.1.3.5 Anzahl der zu zählenden Körner

Um zu überprüfen, inwieweit die Zählung von 100 Körnern pro Präparat (vgl. Kap. 2.4.2) für ein repräsentatives Ergebnis ausreicht, wurden zusätzliche Berechnungen angestellt. Der Rundheits- und Farbindex wurde getrennt bestimmt für

- die ersten 50 Körner jeder Probe (Abb. 31)
- die zweiten 50 Körner jeder Probe (Abb. 32)
- die ersten 25 Körner jeder Probe (Abb. 33)

Rundheitsindex und Farbindex für die ersten 50 Körner jeder Probe (Abb. 31)

Gegenüber Abb. 29 (100 Körner) sind die Verteilungsfelder der Quarzite und Grauwacken auf Grund der geringeren Genauigkeit bei kleineren Datenmengen etwa größer geworden. Nach wie vor sind die Quarzite klar von den Grauwacken abgesetzt. Allerdings überlappen sich die Indexbereiche der Grauwacken jetzt stärker. 4 Extremwerte der Söse-Grauwacke liegen im Feld der Sieber-Grauwacke. Die Indices von Hörre-Kammquarzit, Glimmerquarzit und Ortberg-Sandstein zeigen das gleiche Verhalten wie in Abb. 29.



- Kammerquarzit
- ◊ Quarzitschiefer
- △ Sieber-Grauwacke
- ◊ Söse-Grauwacke
- ◆ 100 isolierte Körner/Probe

Abb. 30: Farbindex in Abhängigkeit vom Rundheitsindex
(ein Symbol entspricht einer Probe (100 Körner))
Zur Index-Berechnung wurden andere Formeln verwendet (vgl. Kap. 4.1.3.4)

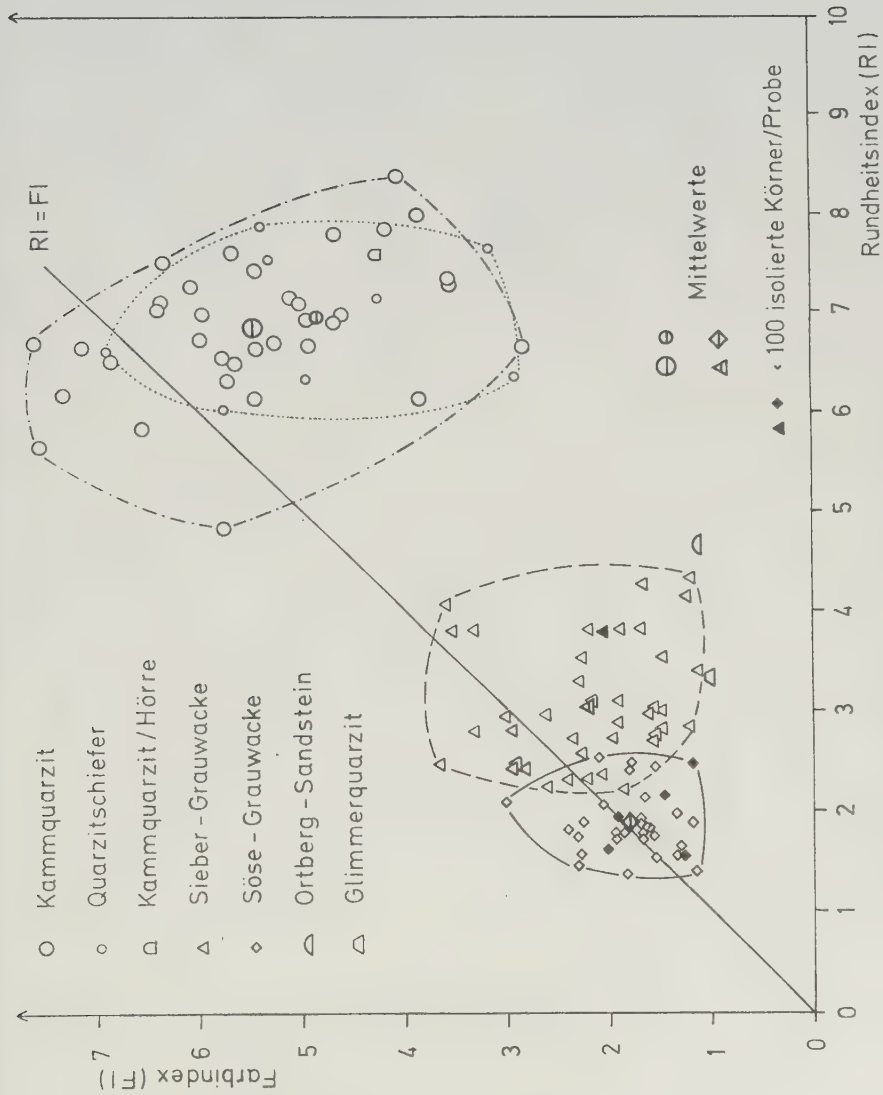


Abb. 31: Farbindex in Abhängigkeit vom Rundheitsindex
(ein Symbol entspricht den ersten 50 Körnern jeder Probe)

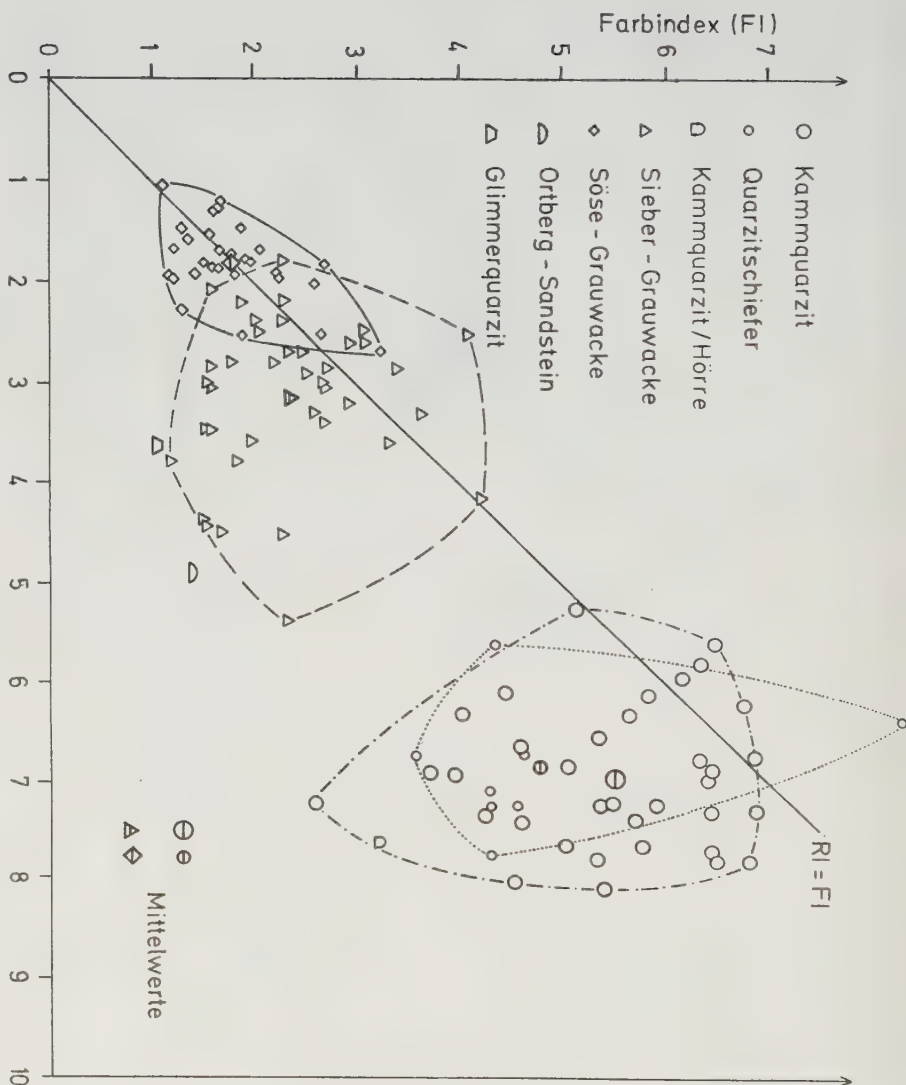


Abb. 32: Farbindex in Abhängigkeit vom Rundheitsindex
 (ein Symbol entspricht den zweiten 50 Körnern jeder Probe)

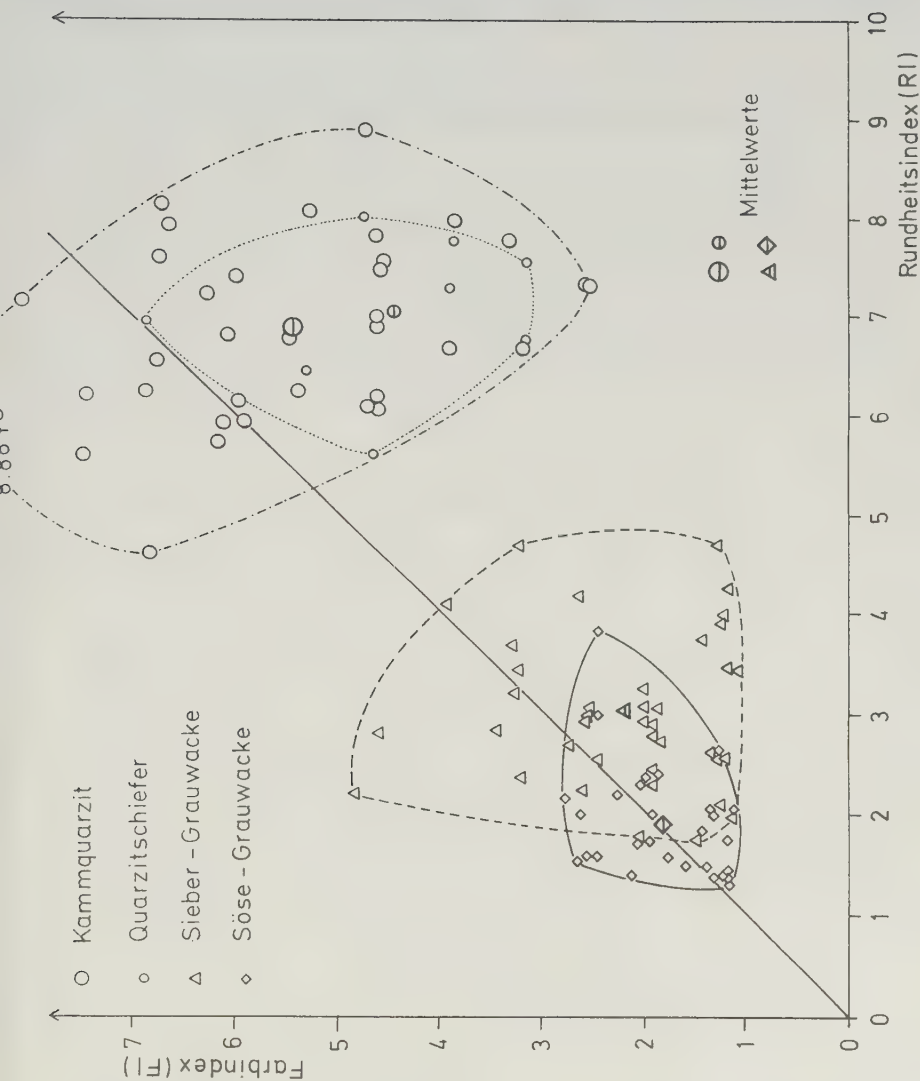


Abb. 33: Farbindex in Abhängigkeit vom Rundheitsindex

(ein Symbol entspricht den ersten 25 Körnern jeder Probe)

Rundheitsindex und Farbindex für die zweiten 50 Körner jeder Probe (Abb. 32)

Die Verteilungsfelder für die zweite Datenhälfte ähneln denen der ersten, doch sind die Streuungen der Indices im allgemeinen etwas größer. In 6 von 8 möglichen Fällen liegen die Werte der Standardabweichungen der zweiten 50 Körner höher als die der ersten 50 (Tab. 7).

Standardabweichung/Mittelwert

	I I Sieber- I Gr.w.	I I Kamm- I qua.	I I Quarzit- I sch.	I I Söse- I Gr.w.
RI	I 0,63/	I 0,63/	I 0,64/	I 0,31/
100 K	I 3,10	I 6,91	I 6,90	I 1,84
RI	I 0,62/	I 0,70/	I 0,71/	I 0,31/
50 K(1)	I 3,07	I 6,87	I 6,95	I 1,88
RI	I 0,79/	I 0,71/	I 0,65/	I 0,39/
50 K(2)	I 3,14	I 6,94	I 6,85	I 1,82
FI	I 0,62/	I 0,91/	I 1,25/	I 0,34
100 K	I 2,28	I 5,46	I 4,81	I 1,80
FI	I 0,71/	I 1,18/	I 1,33/	I 0,41/
50 K(1)	I 2,21	I 5,45	I 4,85	I 1,80
FI	I 0,74/	I 1,04/	I 1,46/	I 0,52/
50 K(2)	I 2,34	I 5,47	I 4,77	I 1,79

Tab. 7: Standardabweichung/Mittelwert von Rundheitsindex (RI) und Farbindex (FI) jeweils für 100 Körner (100 K), die ersten 50 Körner (50 K(1)) und die zweiten 50 Körner (50 K(2))

Vielleicht kann dies auf eine zunehmende Ermüdung während der Zählung und der sich daraus ergebenden Unsicherheit beim visuellen Schätzen zurückgeführt werden.

Rundheitsindex und Farbindex für die ersten 25 Körner jeder Probe (Abb. 33)

Noch geringere Datenmengen blähen die Indexbereiche stark auf, so daß die Grauwacken nicht mehr sinnvoll voneinander getrennt werden können. Für die Unterscheidung der Quarzite von den Grauwacken ist eine Zählung von 25 Körnern ausreichend.

Variationsbreiten der Rundheits- und Farbindices (Abb. 34, 35)

Die folgenden Angaben zum maximalen Fehler beziehen sich auf:

- a) individuelle Fehler (z.B. Drift beim visuellen Schätzen etc.) zusammen mit
- b) Variationen der Kornverteilung im Präparat

Die Häufigkeitsverteilungen der Differenzen der Indices der ersten und der zweiten Datenhälfte ermöglichen Abschätzungen des maximalen Fehlers bei Bestimmung des Rundheits- und Farbindex durch visuelles Schätzen und Berechnung mit den angegebenen Formeln (bei einer Zählung von 50 Körnern).

Maximal möglicher Fehler der Rundheitsindices (Abb. 34)

Bei der Zählung von 50 Körnern kann der Rundheitsindex (RI) maximal variieren zwischen:

Sieber-Grauwacke:	RI $\pm$ 1,5
Kammquarzit +	
Quarzitschiefer:	RI $\pm$ 1,5
Söse-Grauwacke:	RI $\pm$ 1,0

Es müssen jeweils die Maximalwerte (positiv oder negativ) der Kurvenendpunkte berücksichtigt werden, da die Kurve der Häufigkeitsverteilung (Abb. 34) an einer zur Ordinate parallelen, durch den Nullpunkt führenden Achse gespiegelt erscheint, wenn die Werte der ersten und zweiten Datenhälfte bei der Subtraktion vertauscht werden. Bei 100 gezählten Körnern darf man geringere Variationsbreiten erwarten (Die Bestimmung der Variationsbreiten für 100 Körner hätte eine Zählung von 200 Körnern erfordert).

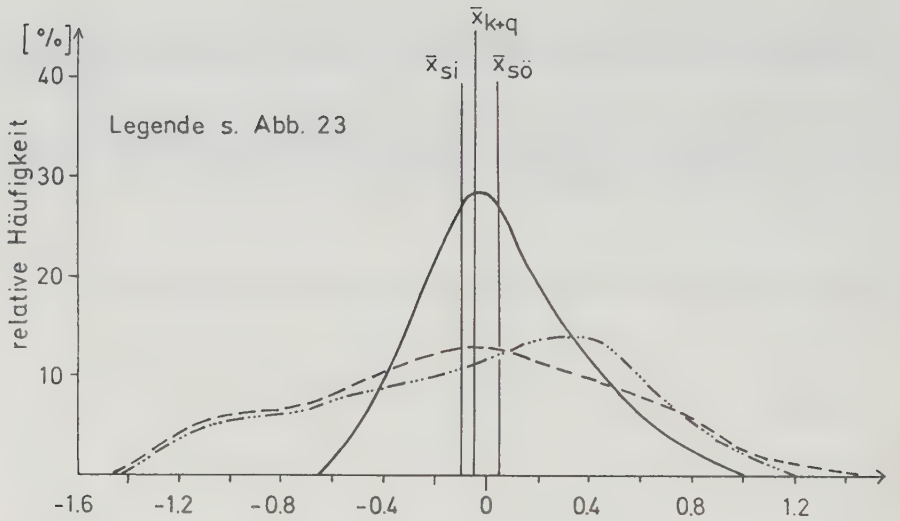


Abb. 34: Häufigkeitsverteilungen der Differenzen der Rundheitsindices der ersten und der zweiten 50 Körner ($\Delta 1$) jeder Probe

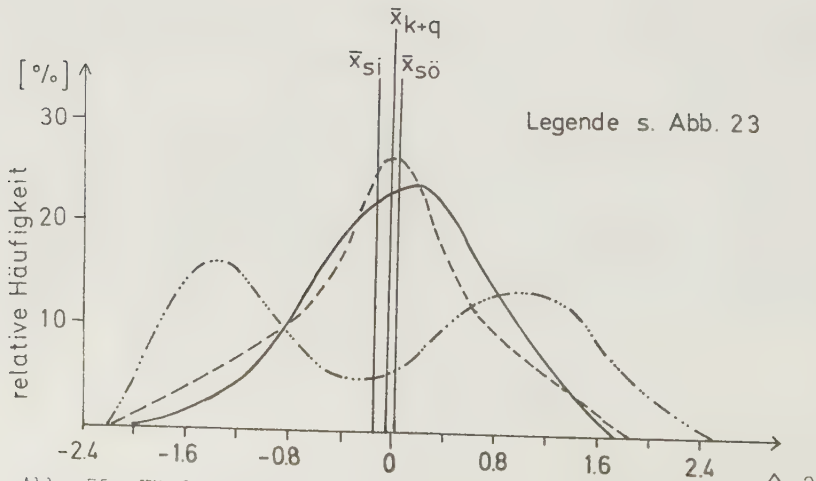


Abb. 35: Häufigkeitsverteilungen der Differenzen der Farbindices der ersten und der zweiten 50 Körner ($\Delta 2$) jeder Probe

Maximal möglicher Fehler der Farbindices (Abb. 35)

Die möglichen Schwankungsbereiche der Farbindices (FI) sind (für 50 Körner):

Sieber-Grauwacke:	FI $\pm 2,2$
Kammquarzit +	
Quarzitschiefer:	FI $\pm 2,5$
Söse-Grauwacke:	FI $\pm 2,0$

Im übrigen gelten die Ausführungen zum Rundheitsindex (s.o.) hier gleichermaßen.

Generell zeigt sich, daß die Variationsbreiten der Rundheits- und Farbindices in der Reihenfolge Quarzite - Sieber-Grauwacke - Söse-Grauwacke abnehmen. Dies dürfte, ebenso wie die Zweigipfligkeit der Kammquarzitkurve in Abb. 35, als Folge der erhöhten Wichtung der hohen Rundheitsgrade (D, E) und der Farbzahlen 7 - 9 in den Formeln für die Indices anzusehen sein.

Ergebnis

Die Wertebereiche, die bei Zählung von 50 Körnern gewonnen werden, nähern sich denen bei 100 Körnern sehr gut an. Es ist nicht zu erwarten, daß die Genauigkeit noch wesentlich gesteigert werden kann, wenn mehr als 100 Körner gezählt werden. Allgemeine Angaben, wieviel Körner mindestens zu zählen sind, können nicht gemacht werden. Dies ist abhängig von der Zirkonpopulation. Für gewisse Probleme genügen schon wenige Körner.

Die Variationsbreite der Rundheits- und Farbindices im Präparat liegt in oder geringfügig über der Größenordnung der Schwankungsbreite innerhalb der Population. Auf Grund dieses Verhaltens der Rundheits- und Farbindices besteht deshalb kein Anlaß zu vermuten, daß die einzelnen lithologischen Komplexe in sich inhomogen sind.

4.1.4 Tracht

Die Trachtklassifikation wurde nach der Methode von TOMITA & KARAKIDA (1958) durchgeführt (s. Abb. 5). Sichere Trachtbestimmungen waren nur bei einem gewissen Prozentsatz (ca. 10 - 20 % der idiomorphen und subidiomorphen Kristalle) möglich. Als Gründe gelten z.B. ungünstige Lage im Dauerpräparat oder Anhaften von anderen Mineralien am Zirkonkorn. Infolgedessen war die absolute Anzahl der Kristalle mit erkennbarer Tracht im Falle der Quarzite äußerst gering. Wegen des sowieso schon geringen Prozentsatzes der idiomorphen und subidiomorphen Körner konnten etwa bei der Hälfte der Proben deshalb keine Trachtbestimmungen durchgeführt werden.

Trotzdem zeigt sich ein deutliches Ergebnis (Abb. 36). Im Kammquar-

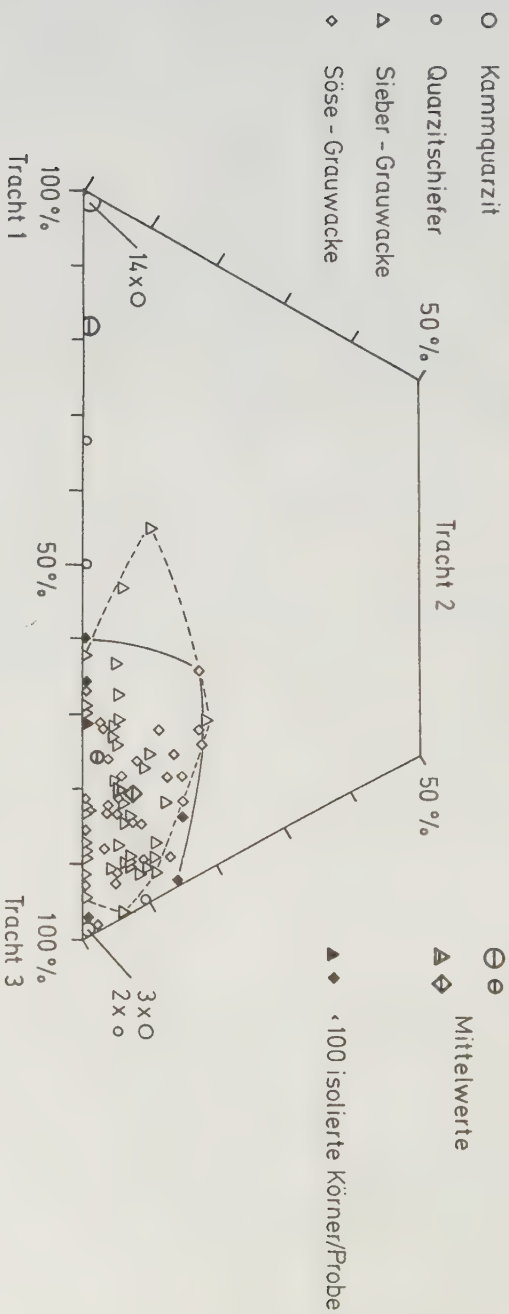


Abb. 36: Diagramm der Tracht-Verteilungen (vgl. Abb. 5)
 (ein Symbol entspricht einer Probe)

zit sind Zirkone der Tracht 1 bei weitem in der Überzahl. Der Quarzitschiefer tendiert jedoch zu höheren Werten für Tracht 3. Möglicherweise ist dies als Korngrößeneffekt zu deuten.

Die Verteilungsfelder der Grauwacken decken sich zum größten Teil und liegen generell bei Werten mit hohen Tracht 3 - Gehalten. Einige wenige Proben der Sieber-Grauwacke weisen jedoch auch bis 55 % an Tracht 1 auf.

4.1.5 Längen und Breiten

Die Längen und Breiten aller nicht zerbrochenen Kristalle mit Rundheitsgrad A und B (idiomorph und subidiomorph) und der rosafarbenen Zirkone von 10 willkürlich ausgewählten Kammquarzitproben und 15 Proben der Sieber-Grauwacke wurden mit Hilfe eines Okular-Mikrometers gemessen. Die L/B-Verteilungen der Rundheitsgrade A und B (Abb. 37 - 39) der drei betrachteten Komplexe sind weitgehend identisch, so daß auch keine Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung der Elongationswerte (Abb. 42) erwartet werden können.

Bei den rosafarbenen Zirkonen des Kammquarzits und der Sieber-Grauwacke handelt es sich fast ausschließlich um Körner mit hohen Rundheitsgraden, d.h. um Körner, die polyzyklischen Vorgängen unterworfen waren (Sedimentzirkone). Dementsprechend sind die Elongationswerte der rosafarbenen Zirkone durchweg niedrig (Abb. 43).

Die L/B-Verteilungen der rosafarbenen Zirkone von Kammquarzit und Sieber-Grauwacke unterscheiden sich wesentlich (Abb. 40, 41). Die Sieber-Grauwacke enthält im allgemeinen kleinere rosafarbene Zirkone. So kann das deutliche Maximum der Sieber-Grauwacke bei L=110 Mikron und B=90 Mikron beim Kammquarzit nicht wiedergefunden werden. Auffällig bei beiden ist jedoch die Knieform der 10%-Linie, deren Deutung aber offenbleiben muß.

Nicht berücksichtigt wurde die Söse-Grauwacke, da der Gehalt an rosafarbenen Zirkonen sehr gering ist (s. Kap. 4.1.2).

4.1.6 Beschaffenheit der Kornoberfläche

Zur Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit der Zirkonkörner wurden drei Klassen aufgestellt. Sie sind im folgenden als Narbungsklassen bezeichnet:

- Narbungsklasse 0: glatt, ohne Narbung
- Narbungsklasse 1: etwas rau, wenige Narben
- Narbungsklasse 2: mittelmäßig bis stark genarbt

Es handelt sich ebenfalls um ein visuell schätzendes Verfahren. Die Zuhilfenahme von jeweils selbst zu erstellenden Vergleichstabellen ist deshalb auch hier unerlässlich.

Aus den absoluten Verteilungen der Narbungsklassen wurden für jede Probe die relativen berechnet und im Dreiecksdiagramm dargestellt (Abb. 44). Im Schnitt zeigen über 90 % der Zirkonkörner aus den Quar-

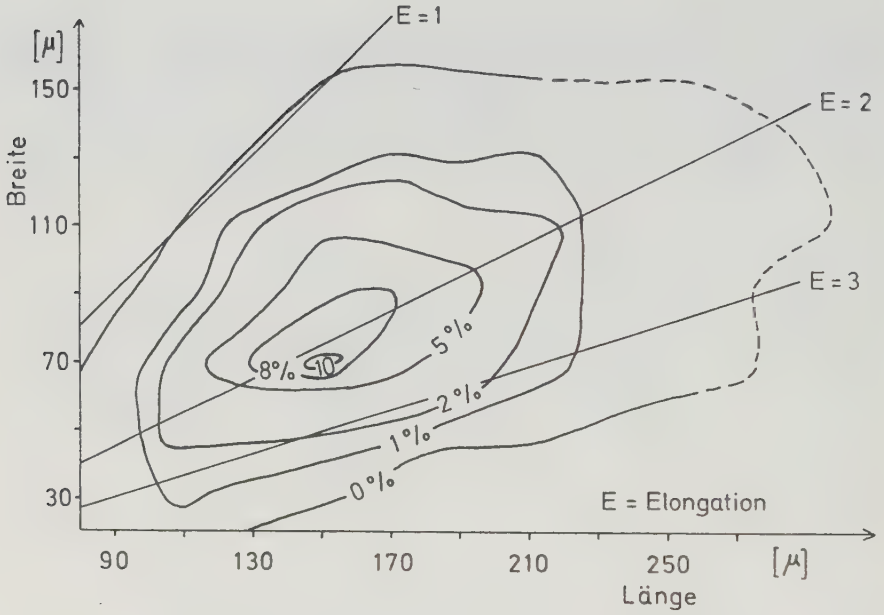


Abb. 37: L/B-Diagramm der Zirkone mit Rundheitsgrad A und B aus der Sieber-Grauwacke (Isolinien: %)

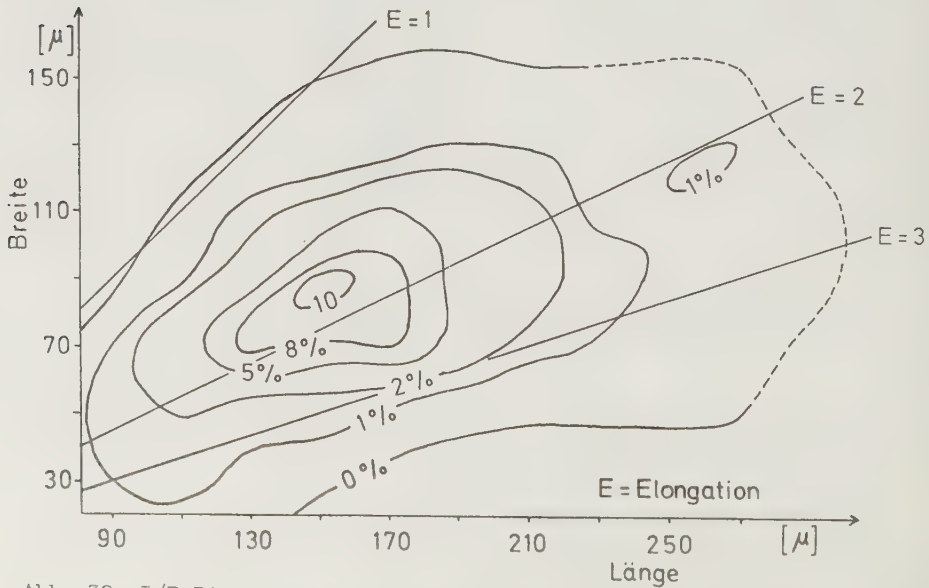


Abb. 38: L/B-Diagramm der Zirkone mit Rundheitsgrad A und B aus der Söse-Grauwacke (Isolinien: %)

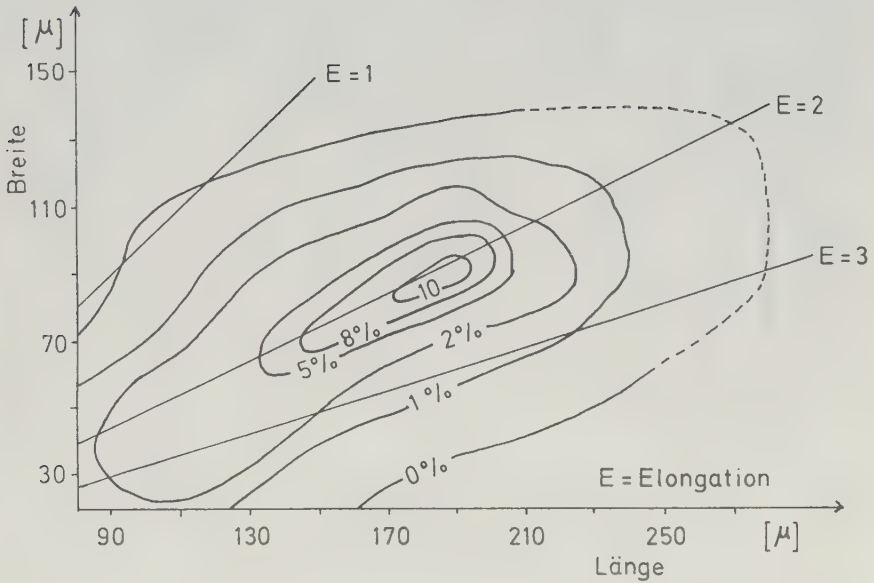
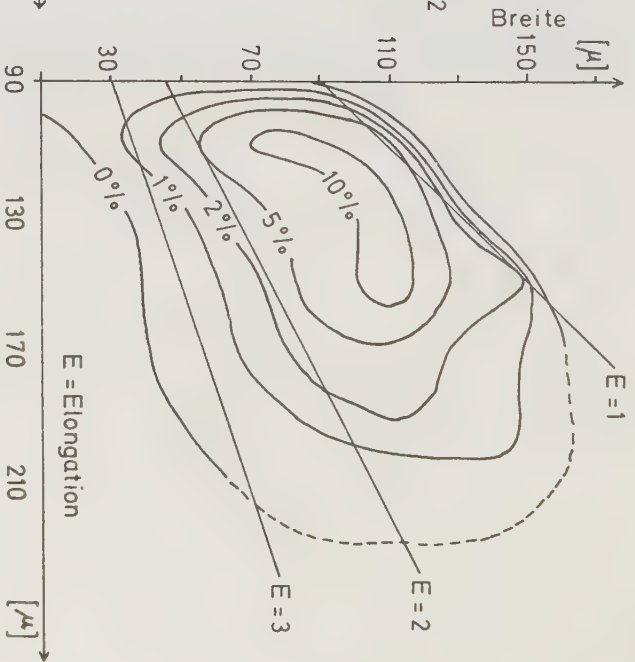
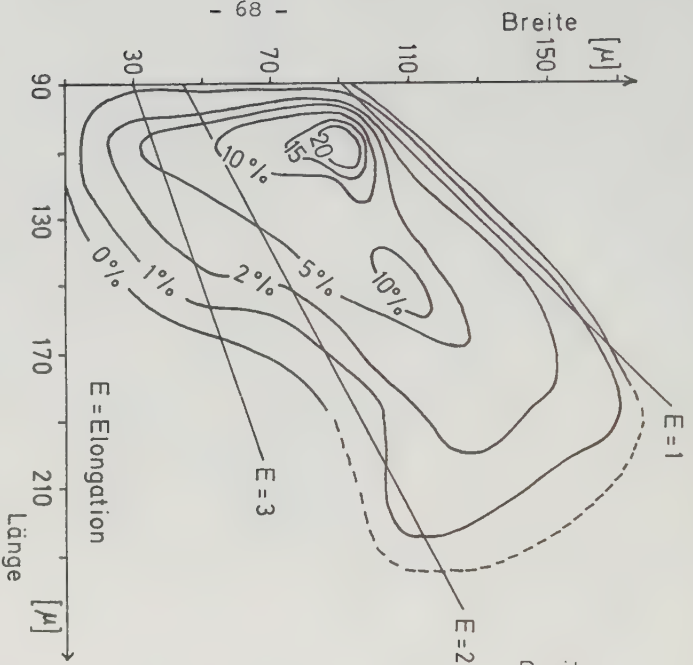


Abb. 39: L/B-Diagramm der Zirkone mit Rundheitsgrad A und B aus Kammquarzit und Quarzitschiefer (Isolinien: ‰)

ziten Narbung. Die Sieber-Grauwanke nimmt Mittelstellung ein, und die meisten Kristalle der Söse-Grauwanke besitzen glatte Oberflächen.

Die genetische Deutung findet sich in Kap. 4.4.



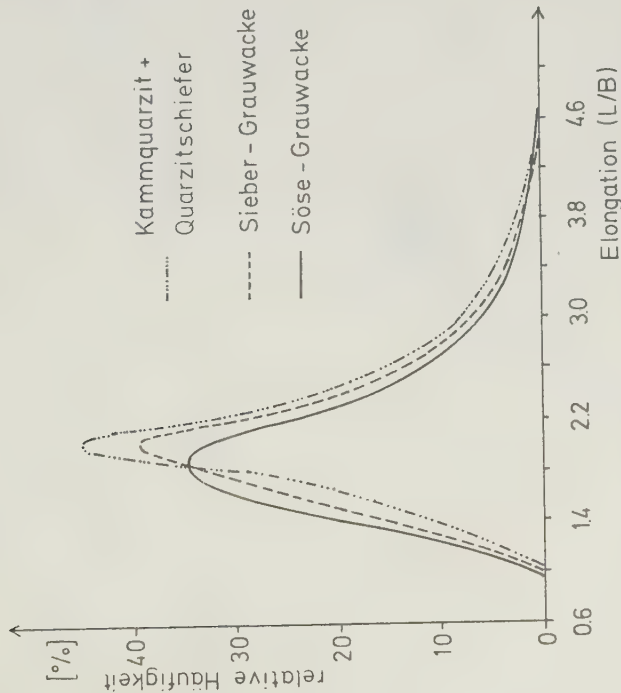


Abb. 42: Häufigkeitsverteilungen der Elongationen der Zirkone mit Rundheitsgrad A und B

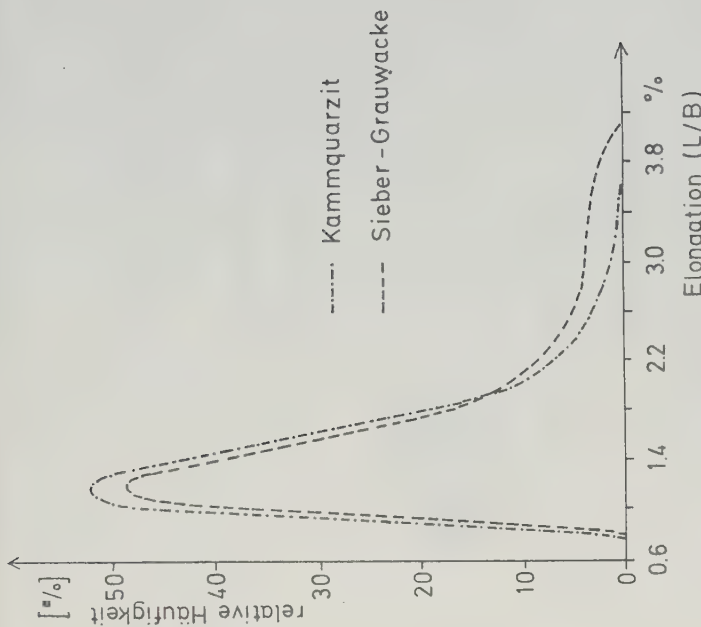


Abb. 43: Häufigkeitsverteilungen der Elongationen der rosafarbenen Zirkone (fast ausschließlich Sedimentzirkone) von 10 Proben des Kammquarzits und 15 Proben der Sieber-Grauwacke (willkürlich ausgewählt)

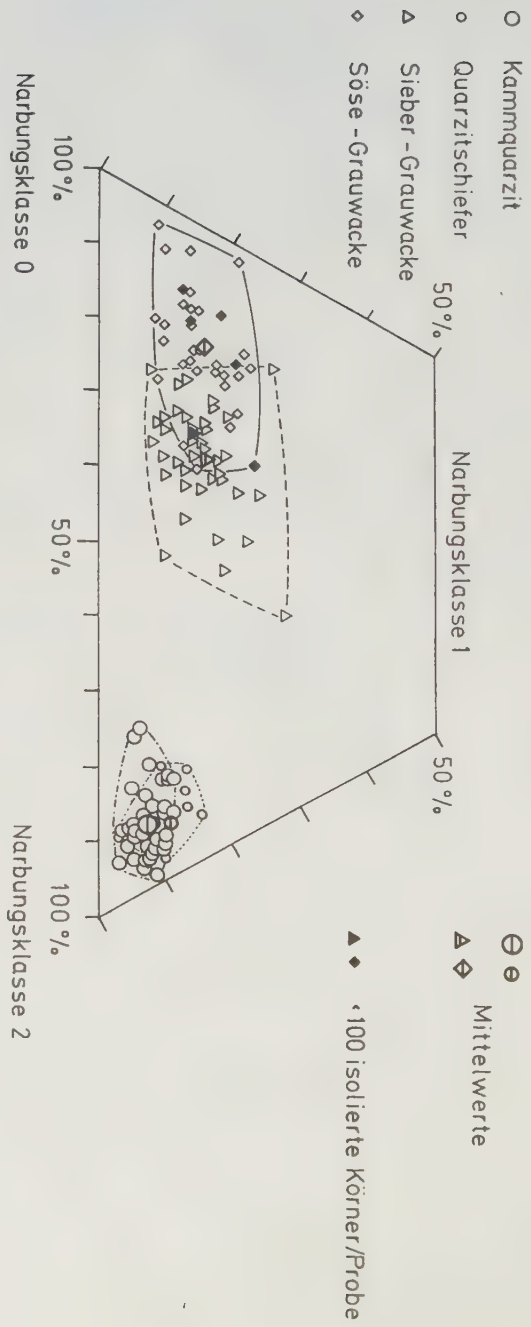


Abb. 44: Diagramm der Narbungsklassen der Zirkone
(ein Symbol entspricht einer Probe)

Klasse 0: glatte Oberfläche; Klasse 1: wenige Narben
Klasse 2: mittelmäßig bis stark genarbte Oberfläche

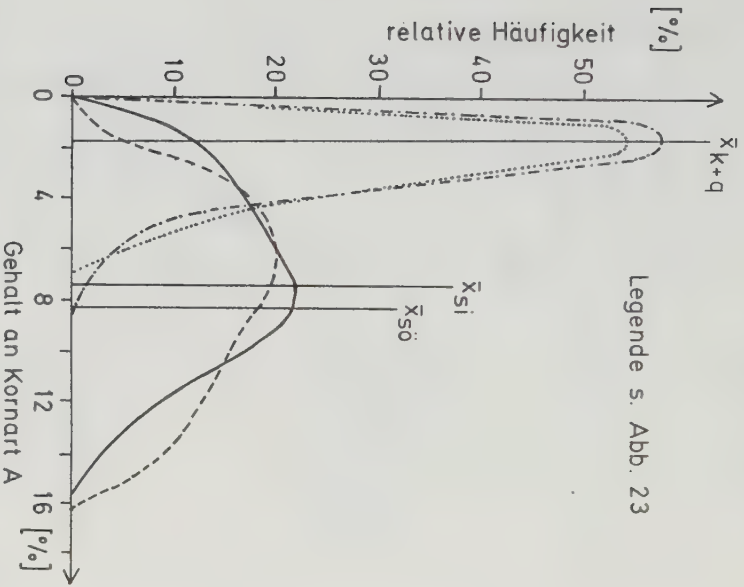
4.1.7 Kombinierte Merkmale

Bereits bei der Zählung aufgefallene, besondere Merkmalskombinationen wurden speziell abgeprüft:

1) Kristalle mit Rundheitsgrad B, die aber nach anderen Kriterien (v.a. Oberflächenbeschaffenheit) als Zirkone aus Magmatiten anzusprechen sind (im folgenden als Kornart A bezeichnet)

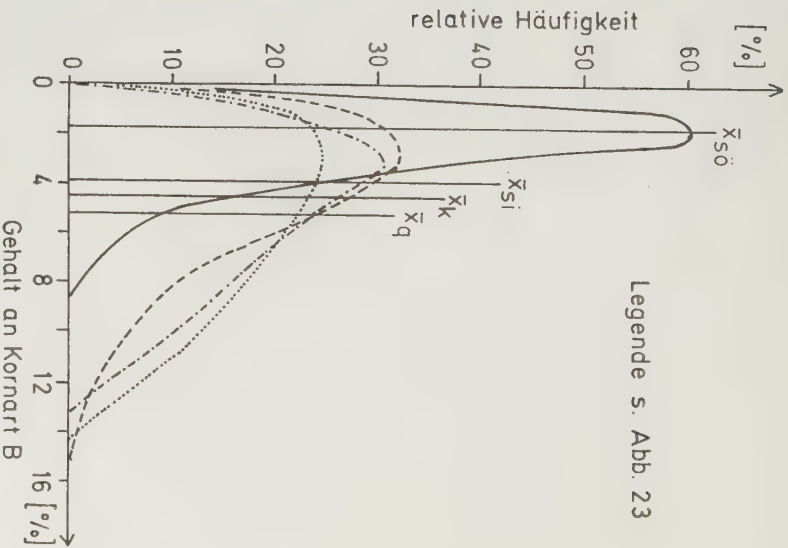
2) Körner mit hohen Rundheitsgraden (D und E), die gleichzeitig aber keine oder geringe Oberflächennarbung (Narbungsklasse 0 und 1) zeigen (im folgenden als Kornart B bezeichnet)

Der Vergleich der Verteilungskurven von Kornart A (Abb. 45) und von Rundheitsgrad B (Abb. 8) zeigt, daß sich die Kurven von Quarziten und Grauwacken im Falle von Kornart A nicht so stark überschneiden wie die von Rundheitsgrad B. Daraus darf geschlossen werden, daß der Anteil der Magmatitzirkone an den Körnern mit Rundheitsgrad B im Falle der Grauwacken etwas höher ist als im Falle der Quarzite. Umgekehrt gilt, daß der Rundheitsgrad B der Körner aus den Quarziten im höheren Maße als bei den Grauwacken durch sedimentäre Abrollung erzeugt wurde. Bei der Häufigkeitsverteilung von Kornart B (Abb. 46) fallen besonders die niedrigen Werte der Söse-Grauwacke ins Auge. Die absoluten Gehalte sind bei Sieber-Grauwacke und den Quarziten etwa gleich. Berücksichtigt man jedoch, daß die Quarzite ca. dreimal so viele Körner mit Rundheitsgrad D und E besitzen, so ist der relative Anteil (bezogen auf alle Körner mit Rundheitsgrad D und E) an Kornart B bei der Sieber-Grauwacke dementsprechend dreimal so hoch. Gibt man ferner zu bedenken, daß die Gehalte an Rundheitsgrad D und E bei der Sieber-Grauwacke ebenfalls um den Faktor 3 höher liegen als bei der Söse-Grauwacke (Abb. 10, 11), so rücken die relativen Gehalte an Kornart B (wiederum bezogen auf alle Körner mit Rundheitsgrad D und E) etwa in die Größenordnung der Sieber-Grauwacke. Weitergehende genetische Deutungen sind in Kap. 4.4 ausgeführt.



Legende s. Abb. 23

Abb. 45: Häufigkeitsverteilung von Kornart A (Körner mit Rundheitsgrad B, die gleichzeitig als Magmatitzirkone anzusprechen sind)



Legende s. Abb. 23

Abb. 46: Häufigkeitsverteilung von Kornart B (Körner mit Rundheitsgrad D und E, die gleichzeitig keine oder geringe Oberflächenanrabung besitzen)

4.2 Erscheinungen im Inneren der Zirkonkörner

4.2.1 Kerne, Neuwachstum, Zonarbau

Jedes Zirkonkorn mit sichtbarem Kern wurde beurteilt nach der Form der Kerne, der Art des Neuwachstums und der räumlichen Anordnung des Neuwachstums (vgl. Kap. 1.3.6). Während im Falle der Grauwacken bei relativ vielen Körnern eine Beurteilung der verschiedenen Klassen der oben genannten Merkmale möglich war (Mittelwert der Sieber-Grauwacke: 35 %; Mittelwert der Söse-Grauwacke 55 %), ließen die Quarzite dies nur in beschränktem Umfange zu (Mittelwert ca. 5 %).

Diese relative Verteilung, bezogen auf alle gezählten Körner (im folgenden: Verteilung 1) wurde umgerechnet auf eine relative Verteilung, bezogen auf nur die Körner, an denen Kern- oder Neuwachstumsphänomene feststellbar waren (im folgenden: Verteilung 2), um einen sinnvollen Vergleich zu ermöglichen. Dabei zeigte sich, daß die Werte der Verteilung 2 bei den Quarziten stark streuten - eine Folge der niedrigen Werte bei Verteilung 1. Kammquarzit und Quarzitschiefer wurden daher bei der Darstellung nicht berücksichtigt, weil sie nicht repräsentativ waren.

4.2.1.1 Form der Kerne

Es wurden die folgenden Klassen aufgestellt (Abb. 47):

Kernform 1: Kerne mit scharf begrenzten Umrissen und geraden Kanten (idiomorphe Kerne)

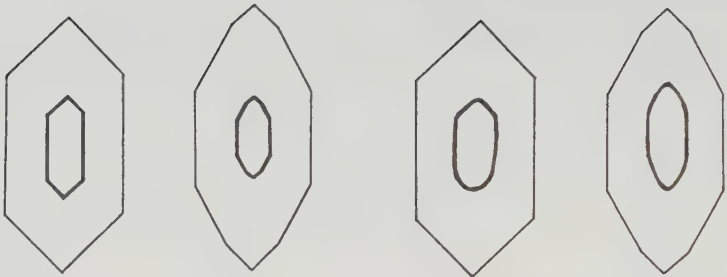
Kernform 2: Kerne mit scharf begrenzten rundlichen Umrissen (subidiomorphe bis rundliche Kerne)

Kernform 3: Kerne mit unscharfen und rundlichen Umrissen (Gneiskerne). Die Oberfläche dieser Kerne ist auf Grund von Wachstumsvorgängen im Gneisstadium (vgl. Kap. 1.3.6) oft stark verunreinigt. Die Kerne erscheinen dunkel bis opak.

Dieser Gruppe wurden auch Kerne zugeschlagen, die vor dem Weiterwachsen zerbrochen wurden. Sie sind aber selten und beeinflussen die Häufigkeitsverteilung nicht.

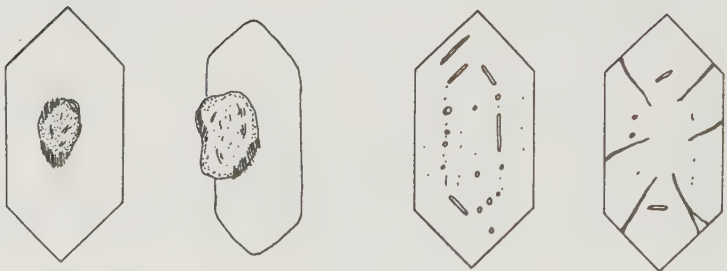
Kernform 4: Kerne, die unmittelbar nicht sichtbar sind und nur durch Kernanzeiger (z B. Häufung von Inklusionen in der Kornmitte, Sprengung der Hülle, Zonarbau) abgebildet werden.

Die Häufigkeitsverteilungen (Verteilung 2) zeigen die Abb. 48 - 51.



Kernform 1

Kernform 2



Kernform 3

Kernform 4

Abb. 47: Vergleichsbild für die Kernformen

- Kernform 1: idiomorpher Kern
- Kernform 2: subidiomorpher bis rundlicher Kern
- Kernform 3: Gneiskern
- Kernform 4: Kern ist nicht direkt sichtbar, sondern wird durch Kernanzeiger nachgezeichnet

----- Sieber - Grauwacke
 ————— Söse - Grauwacke
 $\bar{x}$ Mittelwerte

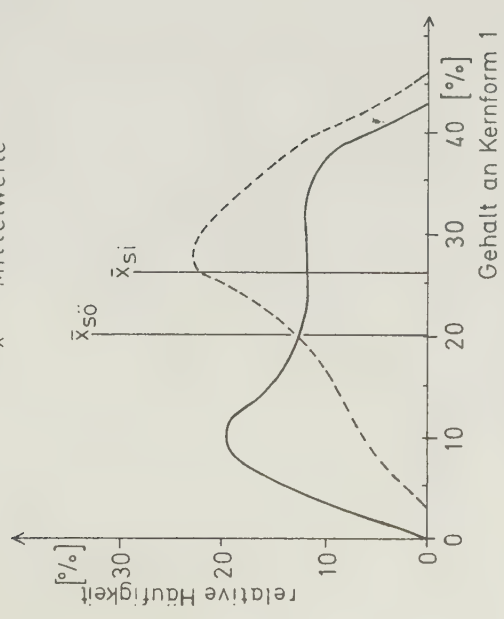


Abb. 48: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Kernform 1 (Verteilung 2; s. Text)

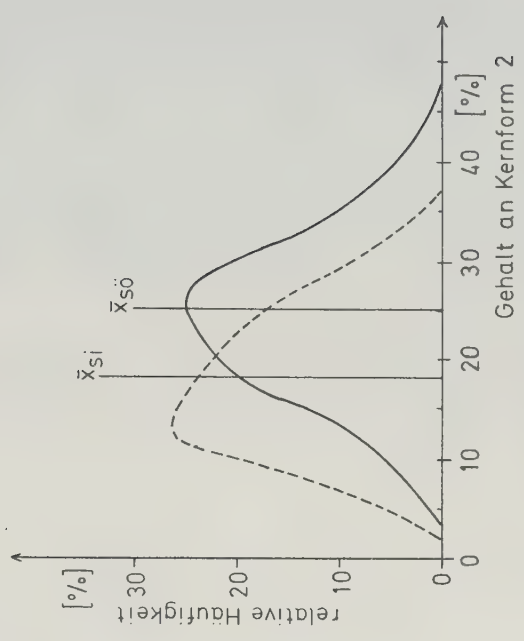


Abb. 49: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Kernform 2 (Verteilung 2; s. Text)

Legende s. Abb. 48

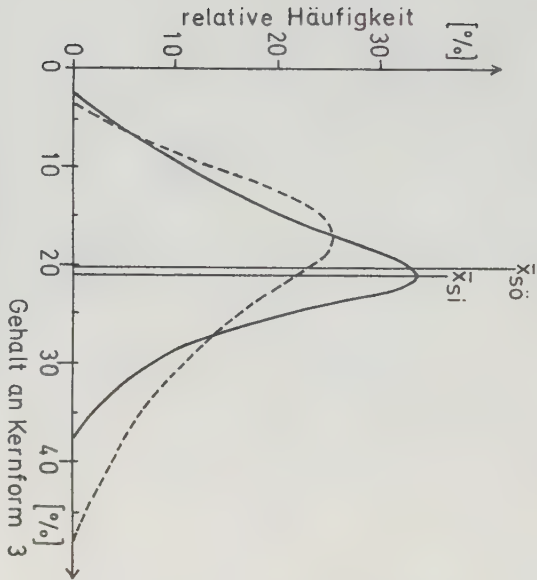


Abb. 50: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte
(%) an Kernform 3 (Verteilung 2;
s. Text)

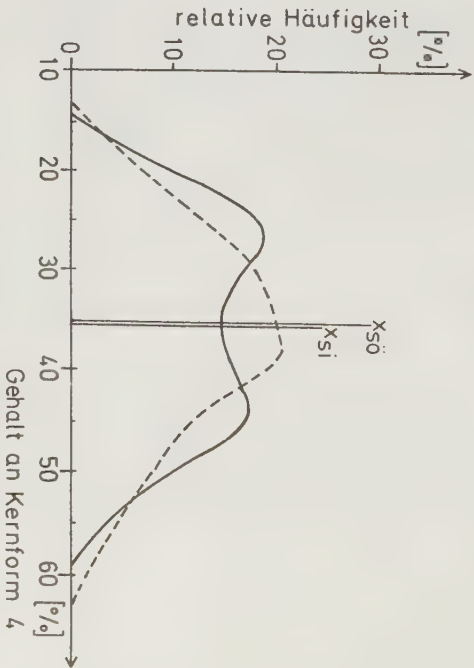


Abb. 51: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte
(%) an Kernform 4 (Verteilung 2;
s. Text)

Häufigkeitsverteilung der Kernform 1 (Abb. 48)

Die Verteilungskurven sind deutlich verschieden, überlappen sich aber zum großen Teil. Die Söse-Grauwacke enthält im allgemeinen weniger Kristalle mit idiomorphen Kernen ($\bar{x} = 20 \%$) als die Söse-Grauwacke ($\bar{x} = 27 \%$).

Häufigkeitsverteilung der Kernform 2 (Abb. 49)

Durchweg höhere Werte an Kernform 2 zeigt die Söse-Grauwacke ($\bar{x} = 25 \%$). Die Sieber-Grauwacke neigt zu niedrigen Werten, zeigt auf Grund der Schiefe der Verteilungskurve aber noch einen Mittelwert von 20 %.

Häufigkeitsverteilungen der Kernformen 3 und 4 (Abb. 50, 51)

Die Verteilungskurven von Kernform 3 und 4 sind bei den Grauwacken fast identisch. Auch die Mittelwerte sind nahezu gleich.

4.2.1.2 Art des Neuwachstums

Die Art des Neuwachstums wurde eingeteilt in 4 Klassen (Abb. 52):

Art des Neuwachstums 1: Weiterwachsen mit gut kristallisierter Zirkonsubstanz. Zonarbau ist nicht erkennbar.

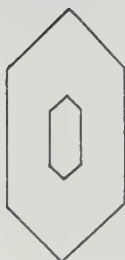
Art des Neuwachstums 2: Weiterwachsen mit gut kristallisierter, zonar gebauter Zirkonsubstanz

Art des Neuwachstums 3: Weiterwachsen mit schwach gestörter Zirkonsubstanz

Art des Neuwachstums 4: Weiterwachsen mit stark zonar gestörter Zirkonsubstanz

Es handelt sich auch hier um ein visuell schätzendes Zählschema. Neben der Benutzung von Vergleichstabellen (Abb. 52) ist insbesondere darauf zu achten, daß die Kristalle immer parallel der Schwingungsrichtung des Polarisators liegen, da der Zonarbau in dieser Stellung am deutlichsten sichtbar ist (vgl. Kap. 2.3).

Die Verteilungskurven (Verteilung 2) zeigen die Abb. 53 - 56.



Art des Neuwachstums 1

Art des Neuwachstums 2



Art des Neuwachstums 3

Art des Neuwachstums 4

Abb. 52: Vergleichsbild für die Arten des Neuwachstums

Art 1: Neuwachstum ohne Zonarbau

Art 2: Neuwachstum mit Zonarbau

Art 3: Neuwachstum schwach zonar gestört

Art 4: Neuwachstum stark zonar gestört

Legende s. Abb. 48

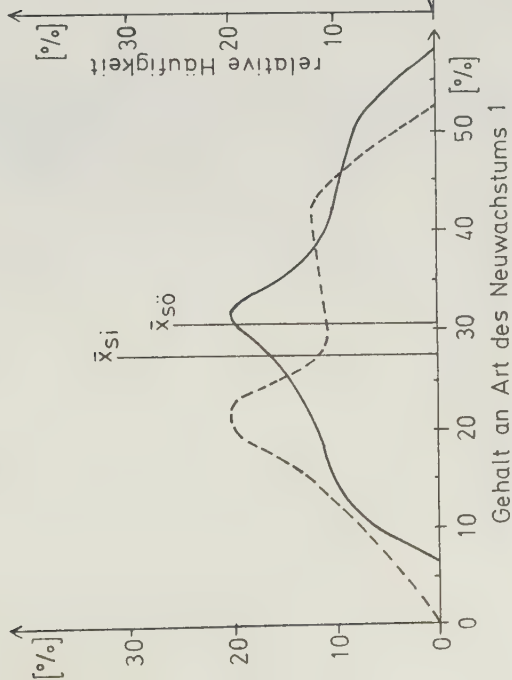


Abb. 53: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Art des Neuwachstums 1 (Verteilung 2; s. Text)

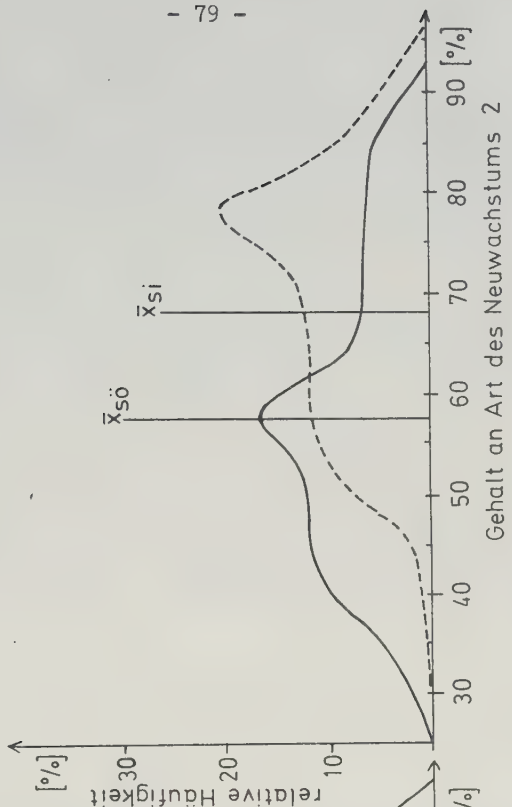


Abb. 54: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Art des Neuwachstums 2 (Verteilung 2; s. Text)

Legende s. Abb. 4.8

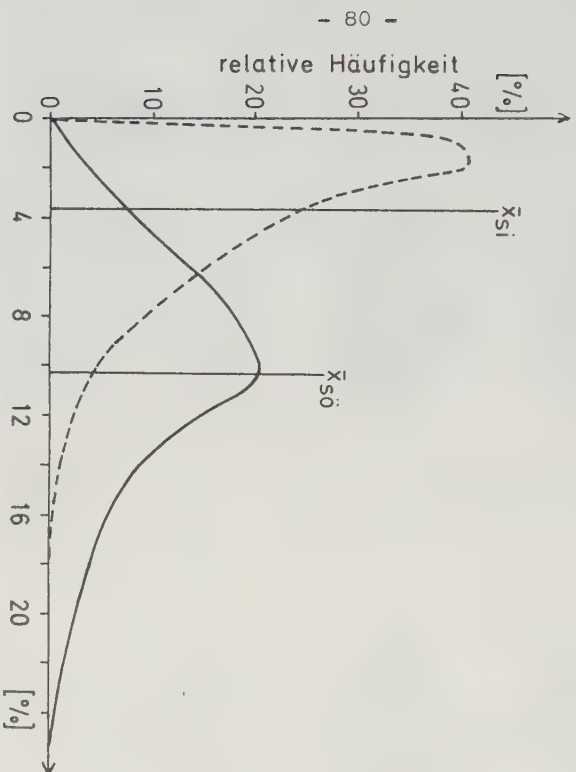


Abb. 55: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte
(%) an Art des Neuwachstums 3
(Verteilung 2; s. Text)

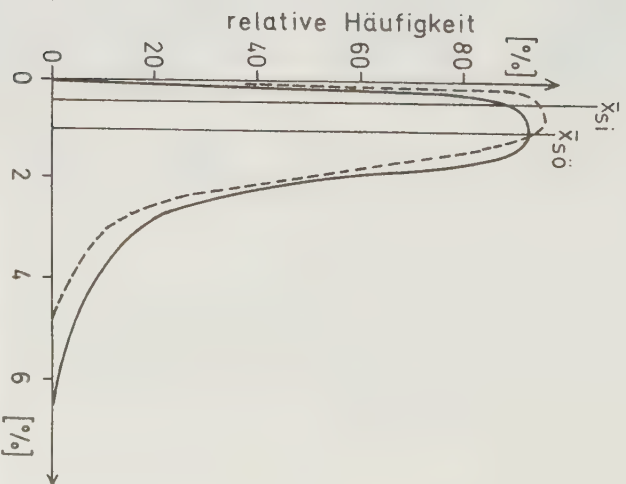


Abb. 56: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte
(%) an Art des Neuwachstums 4
(Verteilung 2; s. Text)

Art des Neuwachstums 1 (Abb. 53):

Die Verteilungskurven der Kristalle ohne Zonarbau sind sich sehr ähnlich und infolgedessen hier für eine Unterscheidung der stratigraphischen Einheiten nicht brauchbar

Art des Neuwachstums 2 (Abb. 54):

Kristalle mit Zonarbau sind in der Sieber-Grauwacke im allgemeinen häufiger als in der Söse-Grauwacke. Eine deutliche Trennung der Bereiche ist jedoch nicht gegeben.

Art des Neuwachstums 3 und 4 (Abb. 55, 56):

Schwach zonar gestört gewachsene Kristalle finden sich in der Söse-Grauwacke bemerkenswert häufiger ($\bar{x} = 10 \%$) als in der Sieber-Grauwacke ($\bar{x} = 4 \%$) (Abb. 55). Kaum Unterschiede zeigen sich dagegen in den Verteilungskurven der stark zonar gestörten Kristalle (Abb. 56). Eine Unterscheidung von Art 3 und Art 4 wäre somit nicht nötig gewesen.

4.2.1.3 Räumliche Anordnung des Neuwachstums

Hinsichtlich der räumlichen Anordnung des Neuwachstums wurden 5 Klassen aufgestellt (Abb. 57):

Räumliche Anordnung 1: Aggregatbildung um einen gemeinsamen Kern

Räumliche Anordnung 2: Einseitige Aus- oder Anwachsung

Räumliche Anordnung 3: Vollständige und gleichmäßige Umwachsung

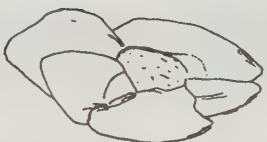
Räumliche Anordnung 4: Vollständige aber ungleichmäßige Umwachsung (eine Wachstumsrichtung ist bevorzugt)

Räumliche Anordnung 5: Dünne (krustige) Umwachsung

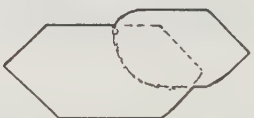
Die Abb. 58 - 62 zeigen die Verteilungskurven (Verteilung 2). Da sie relativ uncharakteristisch sind, wird auf eine Beschreibung verzichtet.



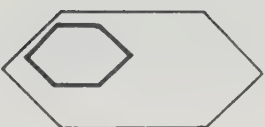
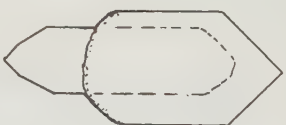
RAN 1



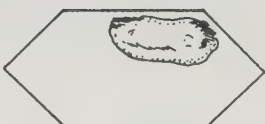
RAN 2



RAN 3



RAN 4



RAN 5



Räumliche Anordnung des Neuwachstums (RAN)

Abb. 57: Vergleichsbild für die räumliche Anordnung des Neuwachstums
 RAN 1: Aggregatbildung um einen gemeinsamen Kern; RAN 2: Einseitige Aus- oder Anwachsung
 RAN 3: Vollständige und gleichmäßige Umwachsung; RAN 4: Vollständige, aber ungleich-
 mäßige Umwachsung; RAN 5: Krustiges Neuwachstum

Räumliche Anordnung des Neuwachstums (RAN)

Legende s. Abb. 48

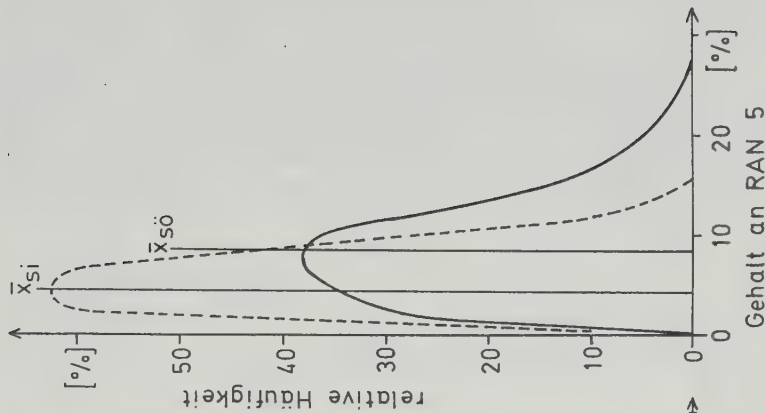
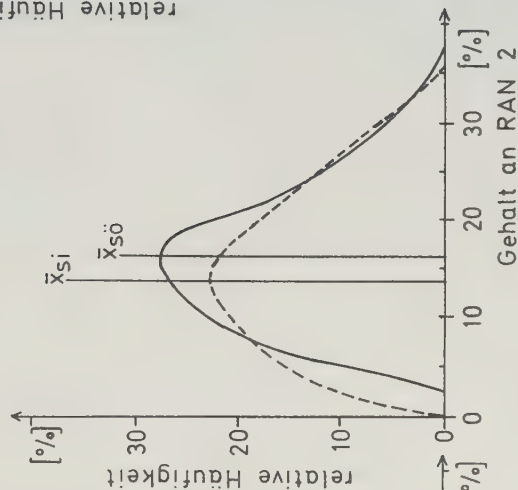
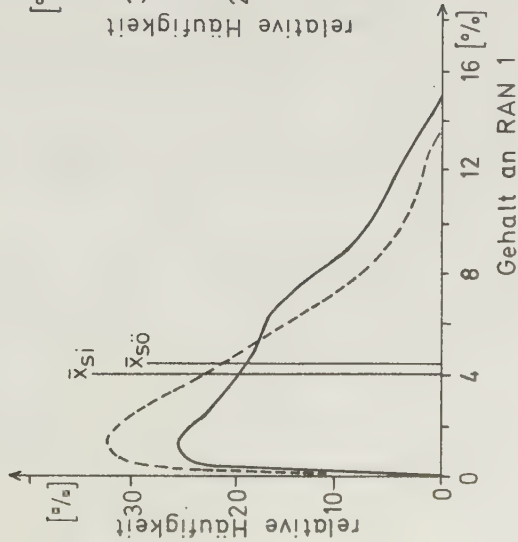


Abb. 58: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an RAN 1 (Verteilung 2; s. Text)

Abb. 59: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an RAN 2 (Verteilung 2; s. Text)

Abb. 60: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an RAN 5 (Verteilung 2; s. Text)

Räumliche Anordnung des Neuwachstums (RAN)

Legende s. Abb. 48

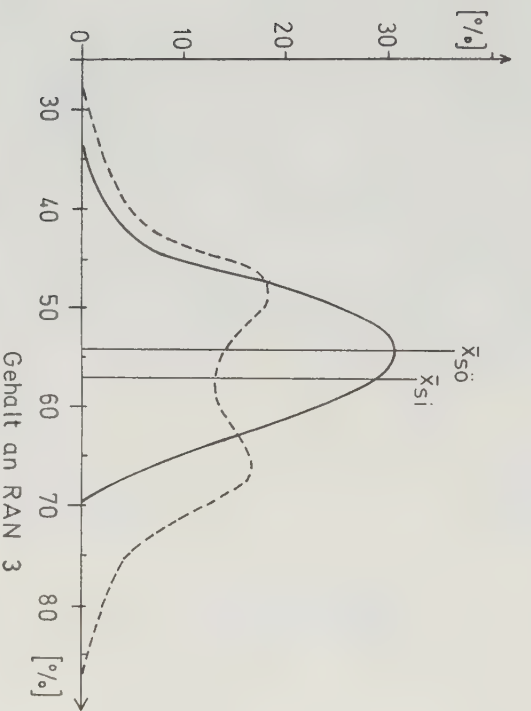


Abb. 61: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an RAN 3 (Verteilung 2; s. Text)

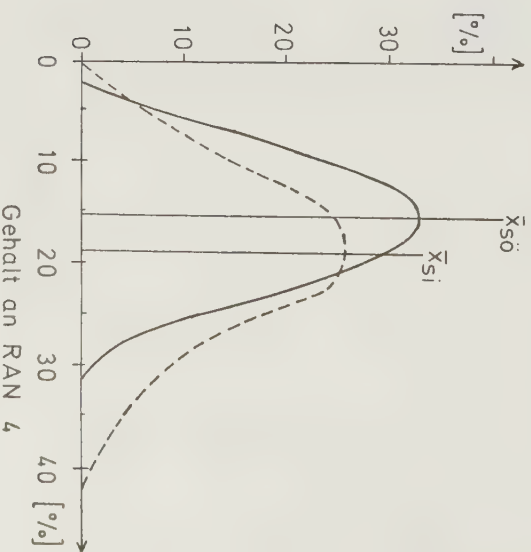


Abb. 62: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an RAN 4 (Verteilung 2; s. Text)

Ergebnis

Bestimmte Kernformen und Arten des Neuwachstums können auch für sedimentäre Gesteinskomplexe charakteristisch sein. Generelle Angaben, welche der beschriebenen Merkmale gezielt zu untersuchen sind, können nicht gemacht werden. Sie sind vom untersuchten Material abhängig.

4.2.2 Metamiktisierung

Metamikte Zirkone werden auf Grund ihrer relativ niedrigen Härte bei sedimentären Prozessen abgereichert (GASTIL et al. 1967:895). So ist leicht verständlich, daß die Quarzite mit ihren vorwiegend gut gerundeten, polyzyklischen Körnern die niedrigsten Gehalte zeigen (Tab. 8).

	I	I	I	I		
	I	$\bar{x}$ (%)	I	Min.(%)	I	Max.(%)
	I	I	I	I	I	I
Kammquarzit + Quarzitsch.	I	0,3	I	0	I	3,0
	I	I	I	I	I	I
Sieber-Grauw.	I	2,5	I	0	I	7,0
	I	I	I	I	I	I
Söse-Grauw.	I	10,0	I	1,0	I	21,0
	I	I	I	I	I	I

Tab. 8: Gehalt an metamikten Zirkonen von Kammquarzit + Quarzitschiefer, Sieber-Grauwacke und Söse-Grauwacke

Die Söse-Grauwacke enthält die meisten metamikten Körner und die Sieber-Grauwacke nimmt Mittelstellung ein.

4.2.3 Bruch

Auf Grund verschiedener Ursachen können Zirkonkristalle Bruchphänomene zeigen. Hinsichtlich ihrer Brüche und Sprengungen wurden die Körner untergliedert in

- 1) Körner ohne Bruch
- 2) Körner mit Diagonal- oder Querbruch
- 3) Körner mit Sprengungen der Hülle (Radialsprünge) oder mosaikartiger Zerlegung der Hülle

Die Quarzite zeigen äußerst selten Körner der Klasse 3 (Abb. 63). Außerdem tendieren sie zu den höchsten Werten der Klasse 1 (ohne Bruch). Die Verteilungsfelder der Grauwacken decken sich teilweise. Die Söse-Grauwacke neigt zu den höheren Bereichen in Bezug auf die zerbrochenen oder gesprengten Körner. Die Sieber-Grauwacke nimmt Mittelstellung ein.

Es liegt nahe zu vermuten, daß die Körner an primär angelegten Sprüngen und Brüchen (z.B. infolge Metamiktisierung) bei physikalischer und chemischer Beanspruchung (z.B. Diagenese oder Transport) zerbrechen. Der Anteil an Zirkonkörnern ohne Bruch ist demnach in polyzyklischen Sedimenten höher, weil die primären Sprünge und Brüche nicht mehr vorhanden sind. Vielleicht waren die Zirkone, die in den polyzyklischen Sedimenten vorliegen, primär besonders groß, denn ihre heutigen Korngrößen entsprechen weitgehend denjenigen der weniger oft umgelagerten Sedimente (vgl. Abb. 37 - 41).

4.2.4 Inklusionen

4.2.4.1 Art der Inklusionen

Wegen der schwierigen Bestimmung von mineralischen Inklusionen in Zirkonkörnern wurden die Einschlüsse nur nach ihrer äußeren Form (Umriß) klassifiziert. Es wurden unterschieden:

1) rundliche Inklusionen

Sie sind meist mit Gas oder Flüssigkeiten gefüllt (Blasen, Schläuche).

2) stäbchenförmige Inklusionen

Es handelt sich vorwiegend um mineralische Einschlüsse.

3) unregelmäßig geformte Inklusionen

Man beobachtet im allgemeinen feste, diffus begrenzte, meist trübe oder opake Einschlüsse von unbestimmbarer Natur.

Die Abb. 64 - 66 zeigen die Tendenz, daß die polyzyklischen Quarzite durchweg mehr Körner ohne als mit dem jeweiligen Einschlußtyp enthalten. Im Falle der stäbchenförmigen Inklusionen (Abb. 65) ist der Unterschied überaus deutlich. Ähnliches beobachteten CALLENDER & FOLK (1958:263). Sie fanden, daß der Anteil der Körner mit Inklusionen bei idiomorphen und hypidiomorphen Kristallen höher ist (70 %) als bei xenomorphen (40 %).

Die Feststellung, daß Zirkone ohne oder mit wenigen Inklusionen bei sedimentären Prozessen angereichert werden (CARROLL 1953:107), kann hiermit bestätigt werden.

Das gleiche Ergebnis zeigt sich, wenn Inklusionstyp-Kombinationen betrachtet werden (Abb. 67 - 70).

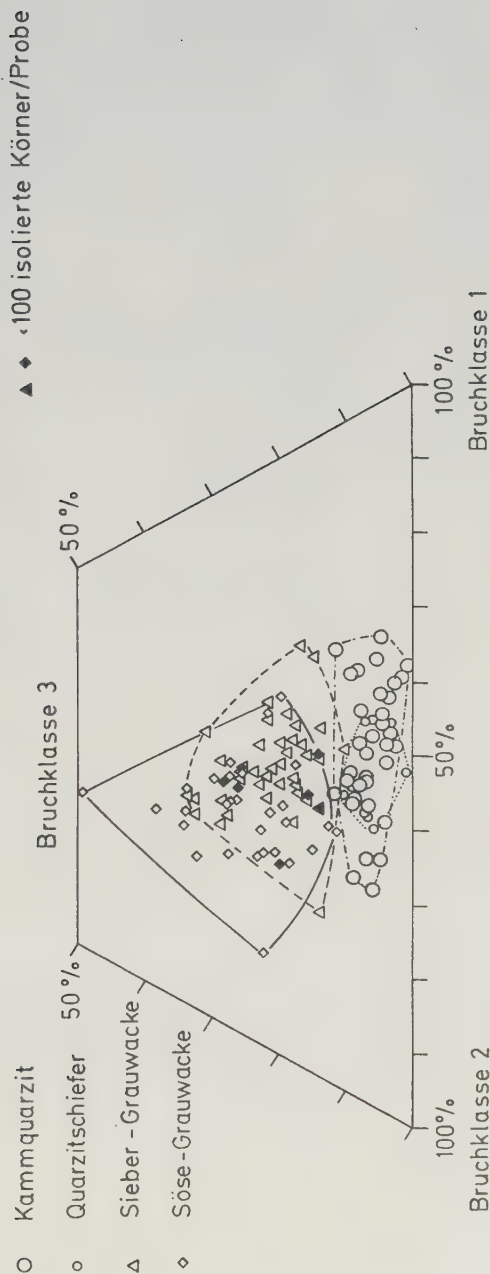


Abb. 63: Diagramm der Bruchklassen der Zirkone
 (ein Symbol entspricht einer Probe)
 Klasse 1: ohne Bruch; Klasse 2: Diagonal- oder
 Querbruch; Klasse 3: Sprengung der Hülle

Legende s. Abb. 66

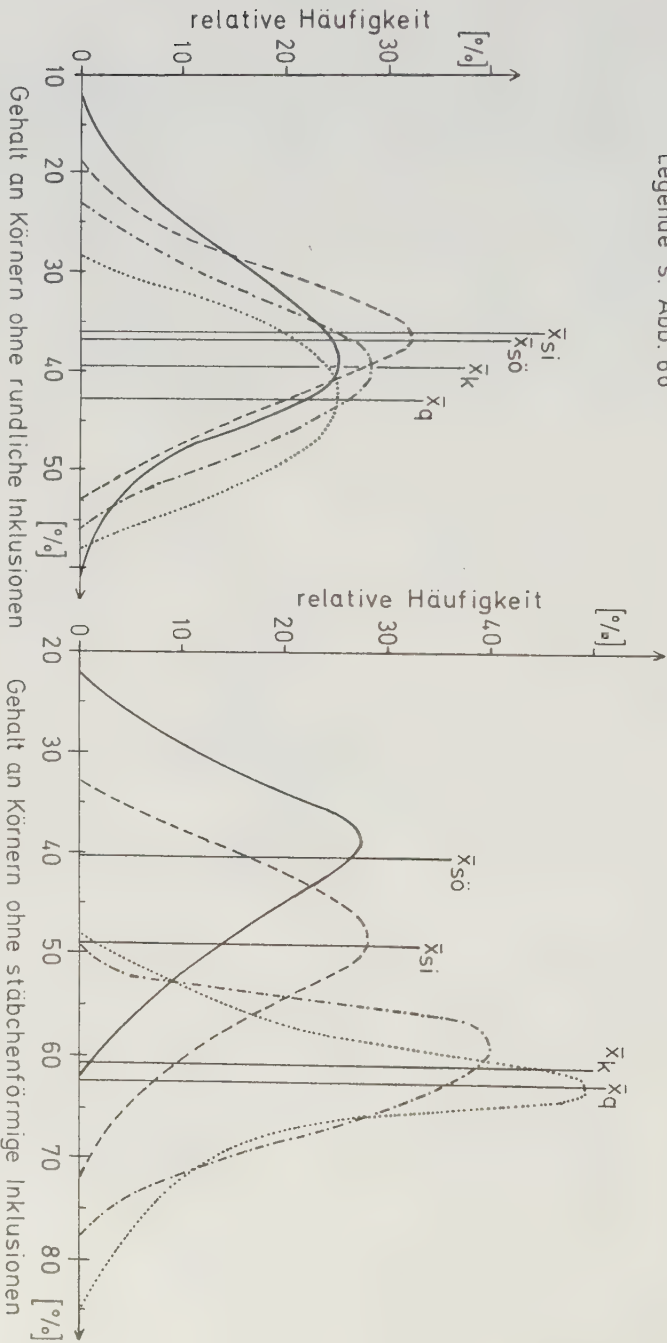


Abb. 64: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Körnern ohne rundliche Inklusionen

Abb. 65: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Körnern ohne stäbchenförmige Inklusionen

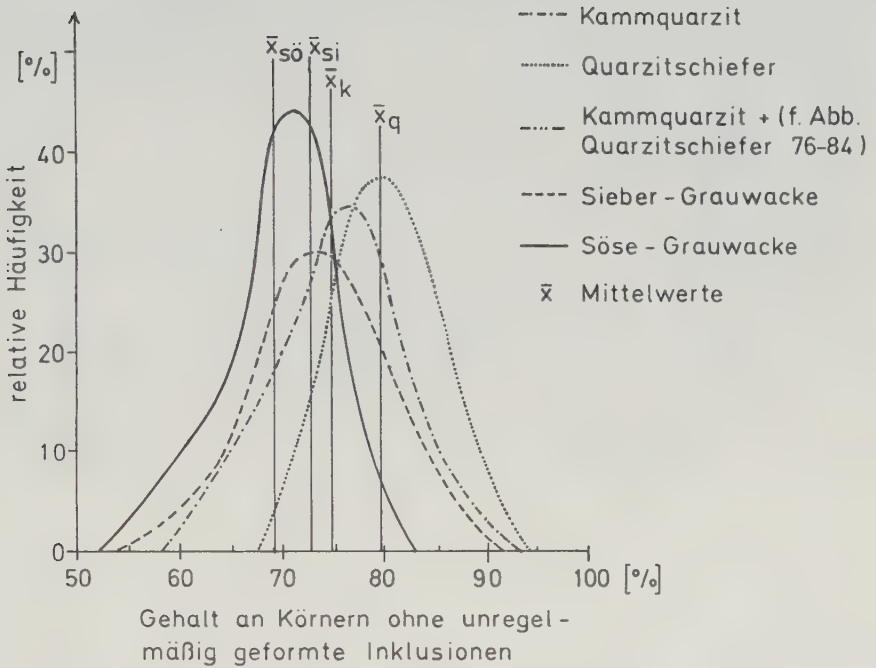
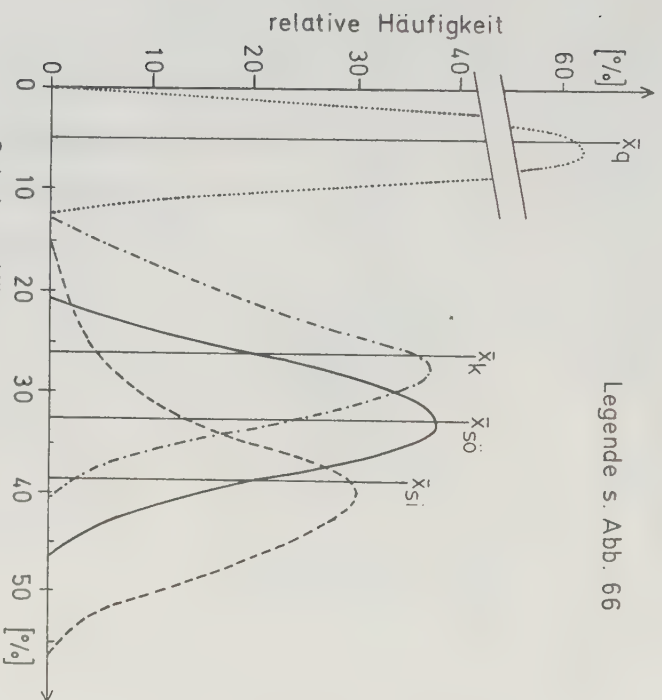


Abb. 66: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Körnern ohne unregelmäßig geformte Inklusionen

Besonders fällt hier auf, daß der Quarzitschiefer sehr wenige Körner mit zwei oder mehr Inklusionstypen enthält. Diese Erscheinung kann nur als Korngrößeneffekt gedeutet werden. Wie man sich leicht vorstellen kann, ist für ein kleines Korn die Wahrscheinlichkeit, daß es zwei verschiedene Inklusionen enthält, geringer als für größere Körner.



Legende s. Abb. 66

Abb. 67: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Körnern mit runden und stäbchenförmigen Inklusionen

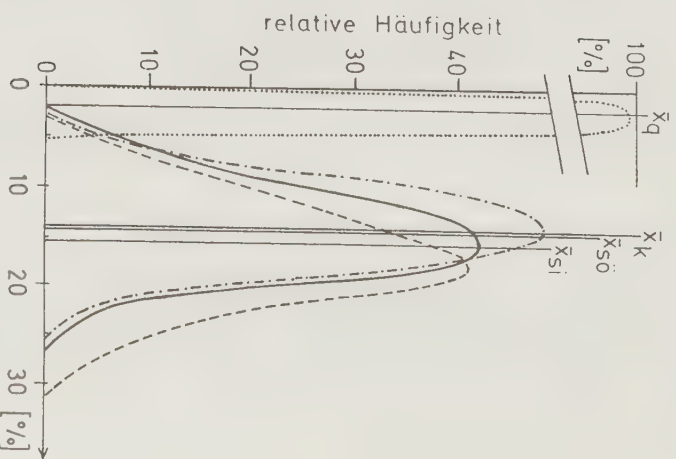
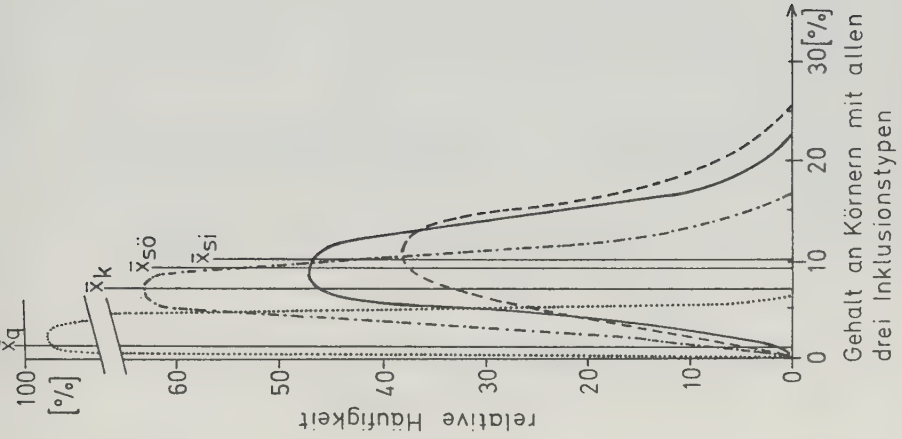
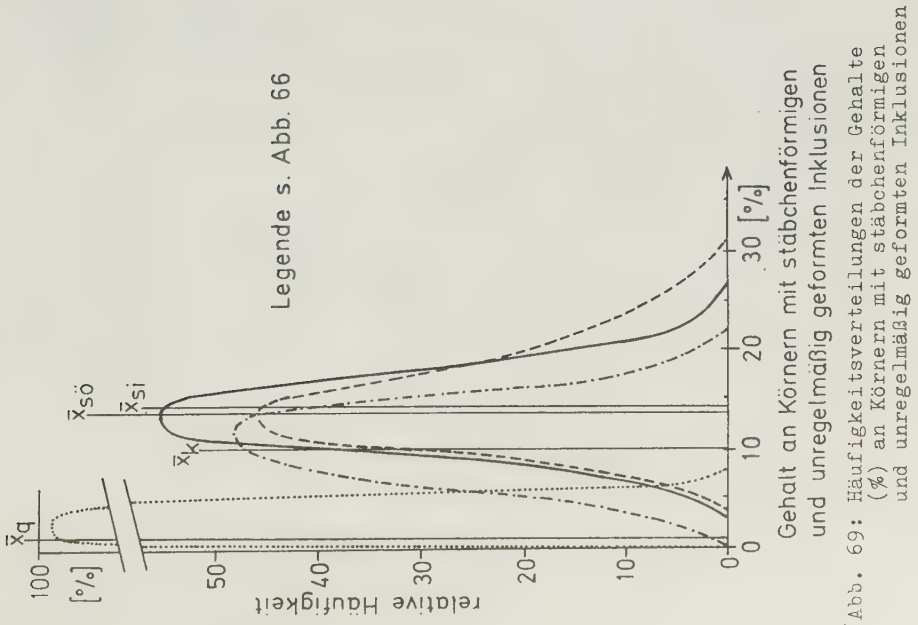


Abb. 68: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Körnern mit runden und unregelmäßig geformten Inklusionen



Ergebnis

Bestimmte Inklusionstypen können für gewisse lithologische Komplexe typisch sein. Die Quarzite enthalten z.B. deutlich weniger Zirkone mit stäbchenförmigen Einschlüssen.

Es wurde bestätigt, daß Kristalle mit vielen Inklusionen instabiler sind als solche mit wenigen.

4.2.4.2 Färbung der Inklusionen

Rundliche Inklusionen

Zusätzlich zum Typ der Einschlüsse fand bei den rundlichen Inklusionen eine Klassifikation nach Farben Anwendung. Die Prozentangaben beziehen sich wiederum auf die Körner, die Inklusionen enthalten (Verteilung 2), d.h. die Summe aller Untertypen ist gleich 100 % und entspricht dem Prozentgehalt an Körnern mit dem jeweiligen Einschlusstyp (<100 %) bezogen auf alle gezählten Körner (Verteilung 1). Folgende Untertypen wurden aufgestellt

Untertyp 1: nur klare Inklusionen

Untertyp 2: nur trüb-graue Inklusionen

Untertyp 3: nur opake Inklusionen

Untertyp 4: sowohl klare als auch trüb-graue Inklusionen

Untertyp 5: sowohl klare als auch opake Inklusionen

Die relativen Häufigkeitsverteilungen der Untertypen sind relativ uncharakteristisch (Abb. 71 - 75). Beschränkte Tendenzen zeigen sich bei den Untertypen 1 und 2. Die Quarzite enthalten etwas geringere Anteile an klaren, rundlichen Inklusionen, während sie bei den trüben, rundlichen Einschlüssen höher liegen.

Stäbchenförmige Inklusionen

Bezüglich der Gliederung der stäbchenförmigen Einschlüsse wurden die gleichen Untertypen verwendet wie bei den rundlichen. Auch hier zeigen die Quarzite im Durchschnitt die niedrigsten Werte bei Untertyp 1 und die höchsten bei Untertyp 2 (Abb. 76 - 80). Bemerkenswert ist, daß die Grauwacken im Mittel weniger als die Hälfte opake stäbchenförmige Inklusionen (Untertyp 3) enthalten als die Quarzite. Die Verteilungen der Untertypen 4 und 5 (Abb. 79 - 80) sind relativ uncharakteristisch.

Rundliche Inklusionen

Legende s. Abb. 66

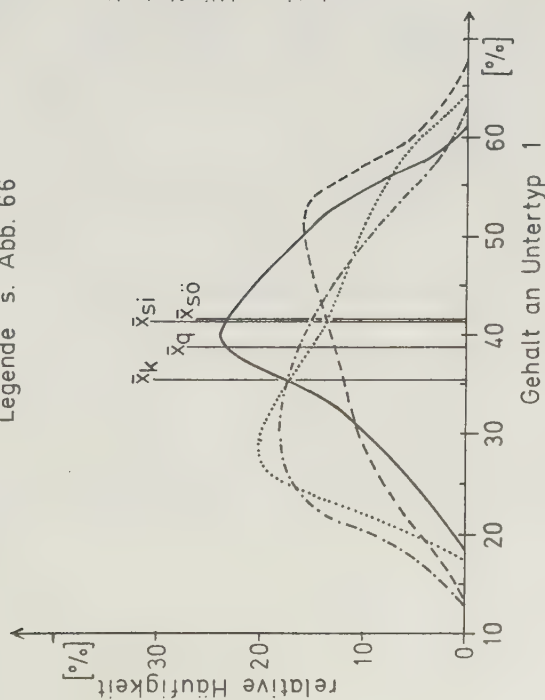


Abb. 71: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Untertyp 1 der rundlichen Inklusionen (Verteilung 2; s. Text)

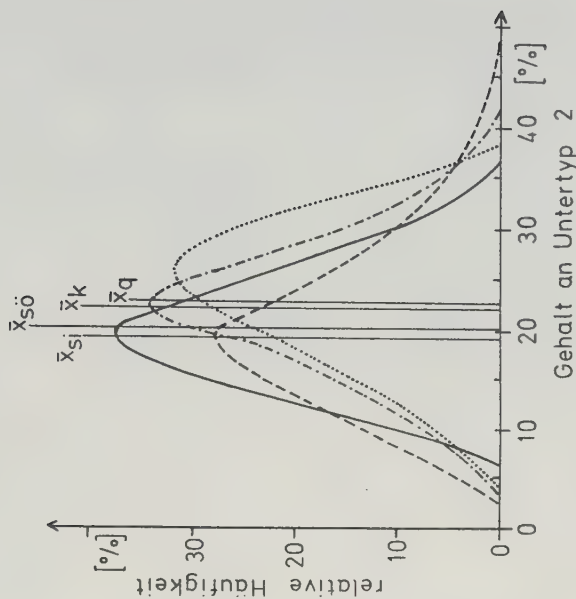


Abb. 72: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Untertyp 2 der rundlichen Inklusionen (Verteilung 2; s. Text)

Rundliche Inklusionen

Legende s. Abb. 66

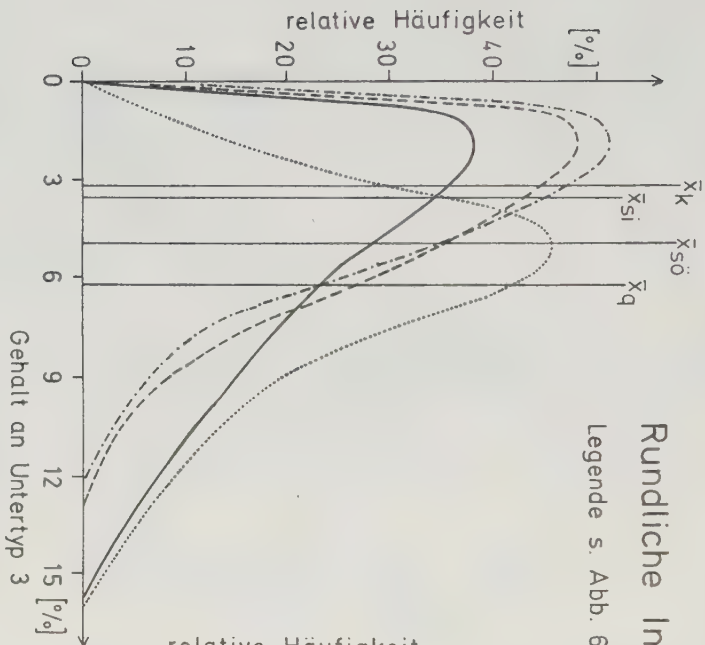


Abb. 73: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Untertyp 3 der rundlichen Inklusionen (Verteilung 2; s. Text)

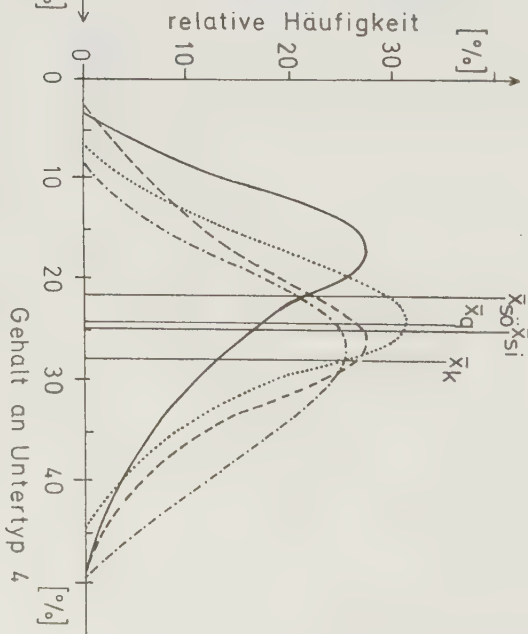


Abb. 74: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Untertyp 4 der rundlichen Inklusionen (Verteilung 2; s. Text)

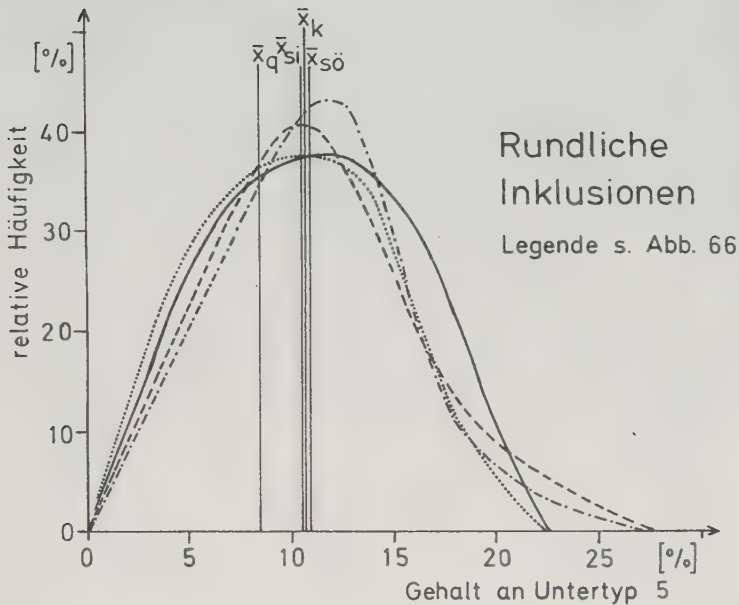


Abb. 75: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Untertyp 5 der rundlichen Inklusionen (Verteilung 2; s. Text)

Unregelmäßige Inklusionen

Die Untertypen-Klassifikation entspricht derjenigen bei den rundlichen Inklusionen. Die Häufigkeitsverteilungen (Verteilung 2) der Untertypen (Abb. 81 - 85) ist kaum aussagekräftig. Lediglich bei Typ 4 zeigt die Söse-Grauwacke relativ niedrige Werte (Abb. 84).

Stäbchenförmige Inklusionen

Legende s. Abb. 66

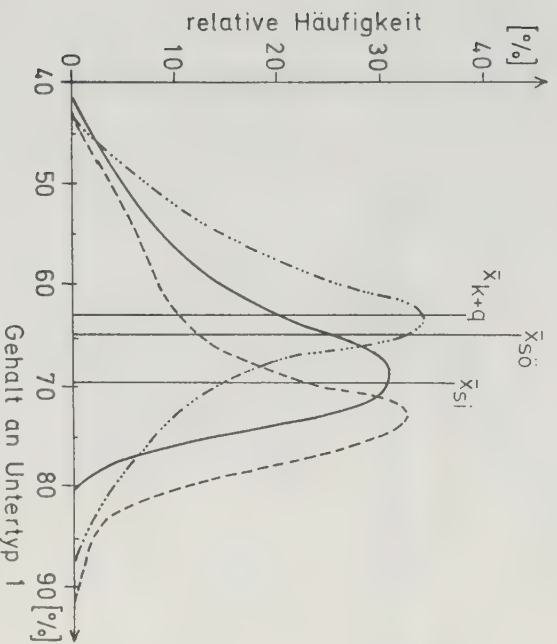


Abb. 76: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Untertyp 1 der stäbchenförmigen Inklusionen (Verteilung 2; s. Text)

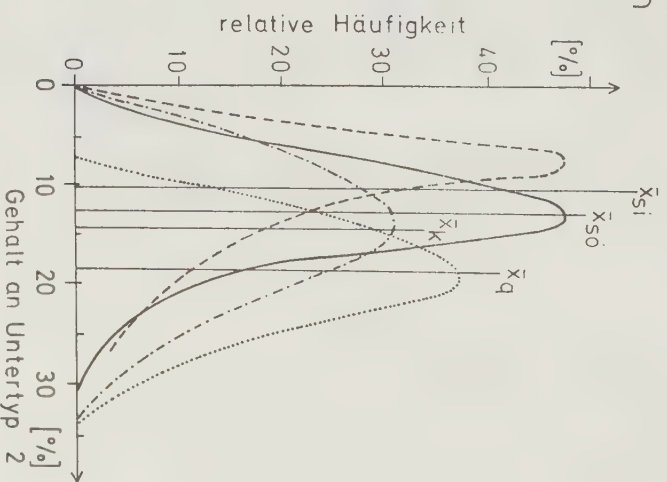


Abb. 77: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Untertyp 2 der stäbchenförmigen Inklusionen (Verteilung 2; s. Text)

Stäbchenförmige Inklusionen

Legende s. Abb. 66

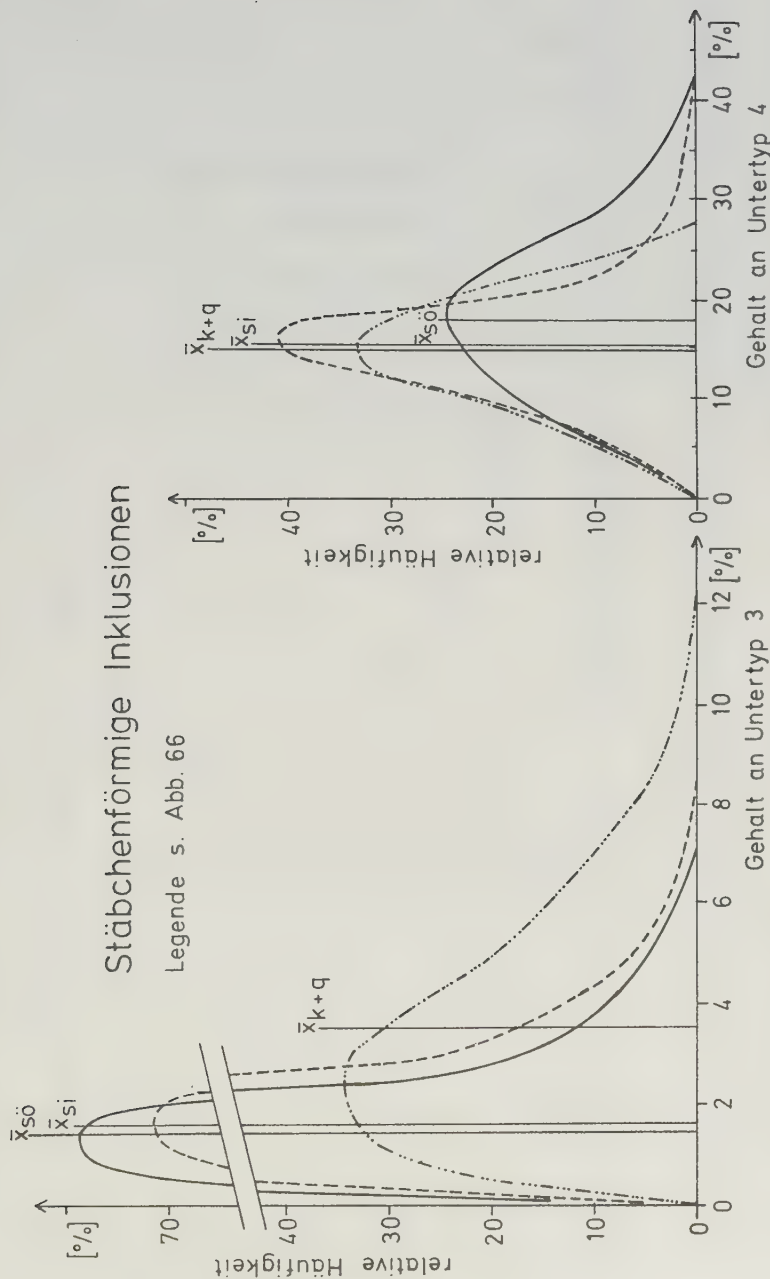


Abb. 78: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Untertyp 3 der stäbchenförmigen Inklusionen (Verteilung 2; s. Text)

Abb. 79: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Untertyp 4 der stäbchenförmigen Inklusionen (Verteilung 2; s. Text)

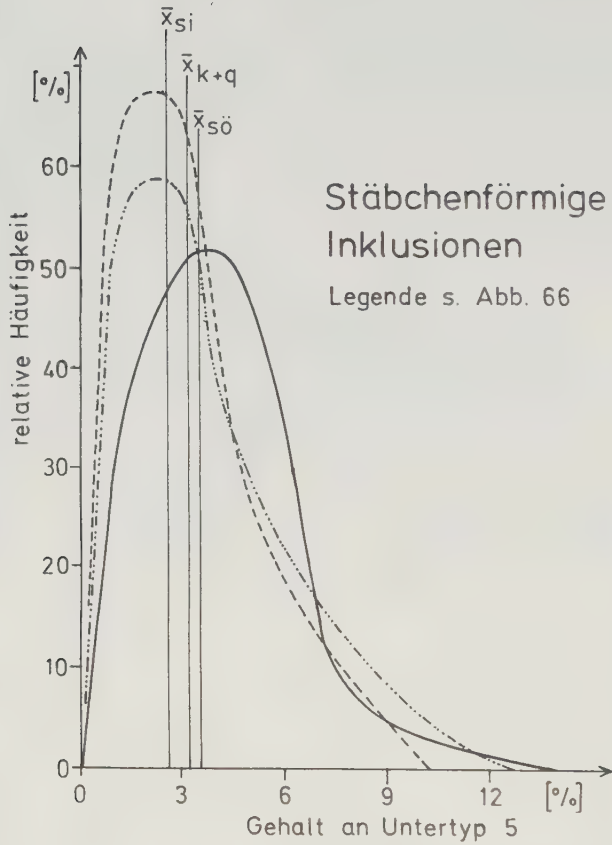


Abb. 80: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Untertyp 5 der stäbchenförmigen Inklusionen (Verteilung 2; s. Text)

Unregelmäßig geformte Inklusionen

Legende s. Abb. 66

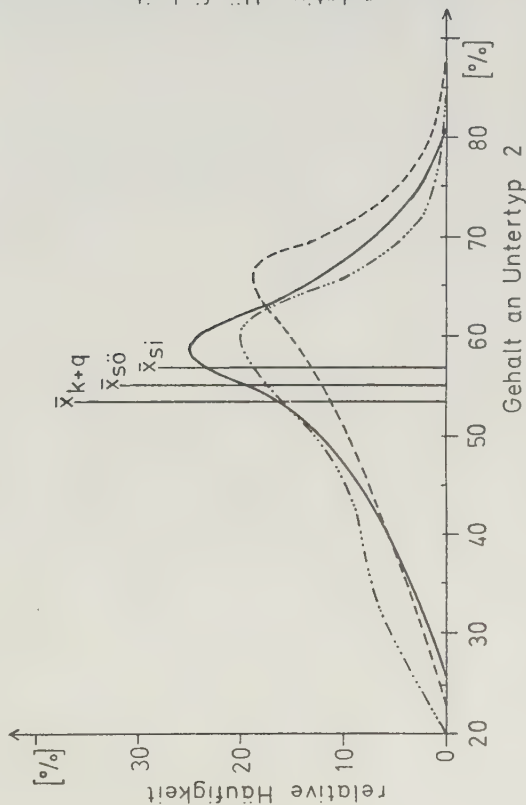


Abb. 81: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Untertyp 2 der unregelmäßig geformten Inklusionen (Verteilung 2; s. Text)

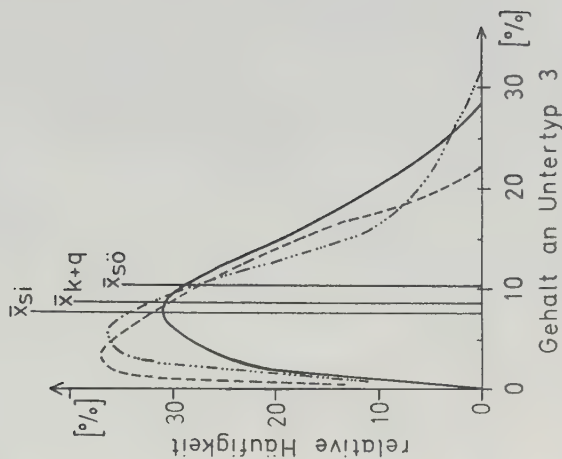


Abb. 82: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Untertyp 3 der unregelmäßig geformten Inklusionen (Verteilung 2; s. Text)

Unregelmäßig geformte Inklusionen

Legende s. Abb. 66

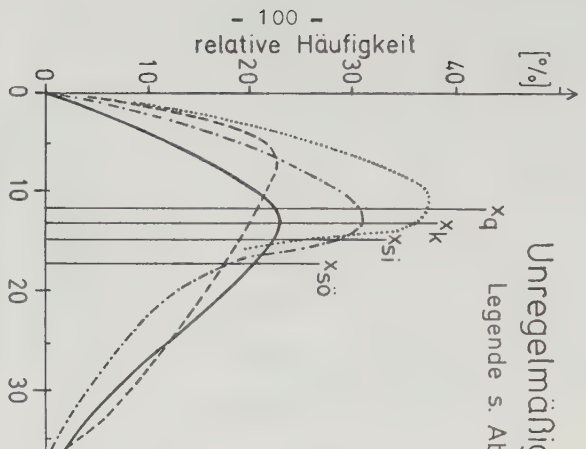


Abb. 83: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Unter-
typ 1 der unregelmäßig ge-
formten Inklusionen
(Verteilung 2; s. Text)

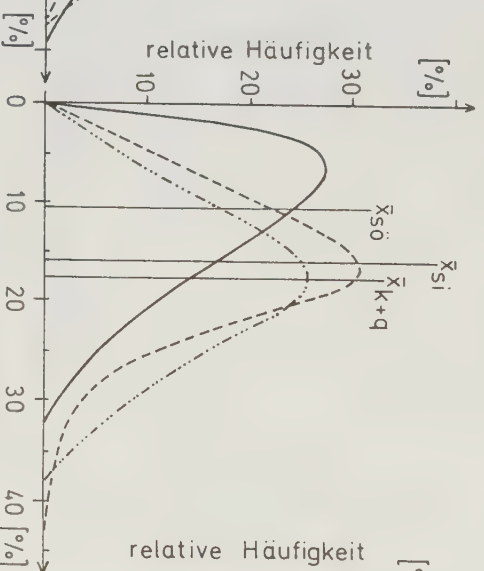


Abb. 84: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Unter-
typ 4 der unregelmäßig ge-
formten Inklusionen
(Verteilung 2; s. Text)

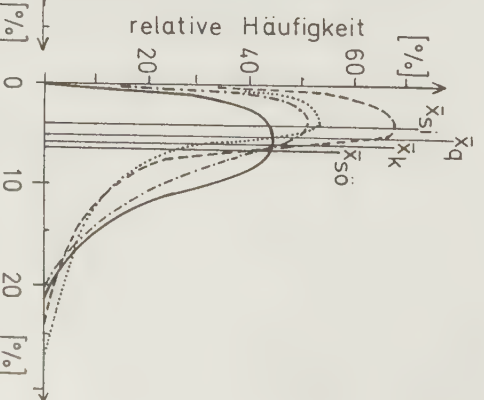


Abb. 85: Häufigkeitsverteilungen der Gehalte (%) an Unter-
typ 5 der unregelmäßig
geformten Inklusionen
(Verteilung 2; s. Text)

Ergebnis

Die Unterscheidung von Untertypen der Inklusionstypen erbrachte hier keine zusätzlichen Ergebnisse.

Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, daß gewisse Untertypen andere Zirkonpopulationen charakterisieren.

4.3 Gehalt an Zirkon in den untersuchten Gesteinen

Die Anzahl der isolierten Zirkonkörner wurde für jede Probe aus der Streudichte im Präparat und der Präparatanzahl abgeschätzt. Dabei ergibt sich folgendes Bild (Abb. 87): Die weitaus höchsten Zahlen lieferten Kammquarzit und Quarzitschiefer, wobei von jeder Probe mindestens 500 Körner erhalten wurden. Bei einer Probe wurden als Extremwert 16 000 Körner ermittelt. Hinsichtlich Minimal- und Maximalwerten liegen die Grauwacken etwa in den gleichen Bereichen (ca. 40 bzw. 2 700), doch ist der Gipfelpunkt der Häufigkeitsverteilung bei der Sieber-Grauwacke deutlich zu den höheren Werten verschoben. Es zeigt sich somit, daß das stabile Mineral Zirkon bei fortgesetzten Umlagerungen nicht nur relativ, sondern in bedeutendem Maße auch absolut angereichert wird.

4.4 Genetische Klassifikation der Zirkonvergesellschaftungen

Mit gewissen Vorbehalten darf aus der Natur der in den Sedimenten gefundenen Zirkone auf das Liefergebiet der Klastika geschlossen werden. Es muß stets bedacht werden, daß nur solche Gesteine nachgewiesen werden können, die Zirkon auch in charakteristischer Ausbildung, gewisser Menge und Größe enthalten. Keine Berücksichtigung können z.B. Kalke, Kieselschiefer Pelite die meisten Basite und all deren metamorphe Äquivalente finden, da sie wenig oder keine typischen Zirkone enthalten. Die folgenden Ausführungen sind demnach als Anteilsabschätzungen der Gesteine mit charakteristischen Zirkonen in den Liefergebieten zu betrachten. Ein einfaches Schema zur Darstellung von Zirkonpopulationen zeigt Abb. 86. Bei der Zählung wurden hier nur Granitoidzirkone, Sedimentzirkone und Zirkone, die keiner der beiden Gruppen zuzuordnen sind, ausgeschieden. Diese genetische Klassifikation ohne direkte Ansprache von morphologischen Erscheinungen erfordert jedoch gewisse Erfahrung.



Abb. 86: Diagramm der genetischen Klassifikation der Zirkone

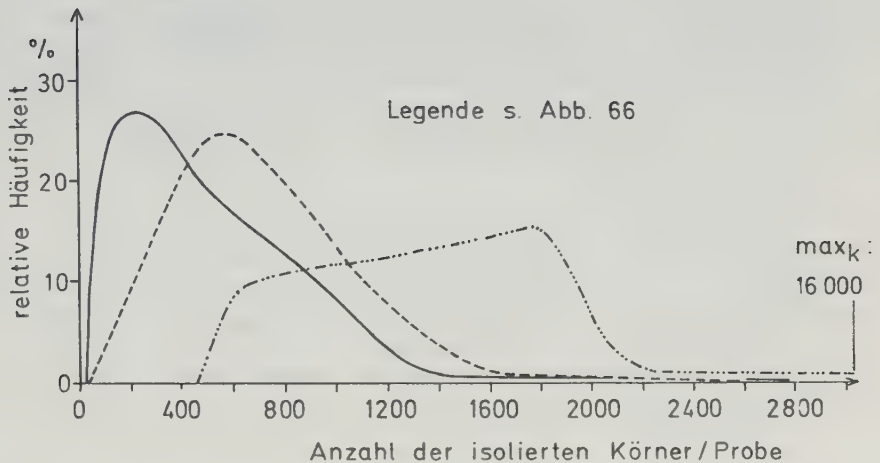


Abb. 87: Häufigkeitsverteilungen der Anzahl der Zirkonkörner, die aus jeder Probe isoliert wurden

4.4.1 Kammquarzit und Quarzitschiefer

Die Quarzite enthalten vorwiegend gut gerundete Zirkone mit rauen Oberflächen (Sedimentzirkone) (Abb. 88). Ca. 90 % der Population waren ohne Zweifel polyzyklischen d.h. mehrfachen Erosions- und Sedimentationsvorgängen unterworfen. Möglicherweise stammen die idiomorphen und subidiomorphen Körner auch nicht unmittelbar von Granitoiden, sondern waren während des Transportes in andere Mineralien eingehüllt und so vor Abrundung geschützt. Diese Vermutung wird gestützt durch den relativ niedrigen Gehalt an Kornart A (vgl. Kap. 4.1.7, Abb. 45). Die Annahme von Granitoidkomplexen im Liefergebiet der Quarzite muß deshalb zumindest mit einem Fragezeichen versehen

werden.

Auch kommen Körner mit hohen Rundheitsgraden und fehlender bis geringer Oberflächenarabung vor (Kornart B; Abb. 46). Möglicherweise handelt es sich um Zirkone aus Granuliten. Typische Granulit-zirkone, wie sie von HOPPE (1966a) abgebildet werden, konnten aber nicht gefunden werden.

Weil die Quarzit-Zirkone vor ihrer endgültigen Sedimentation in unterkarbonischen Schichten schon mehrere Umlagerungen hinter sich hatten, darf ein hohes absolutes Alter vermutet werden. Ein zweiter Hinweis ergibt sich aus dem relativ großen Gehalt an rosafarbenen Zirkonen, die für präkambrische Gesteine typisch sind (TOMITA 1954; ZIMMERLE 1972). Zumindest für einen Teil der Zirkonpopulation der Quarzite kann somit präkambrisches Alter angenommen werden.

4.4.2 Söse-Grauwacke

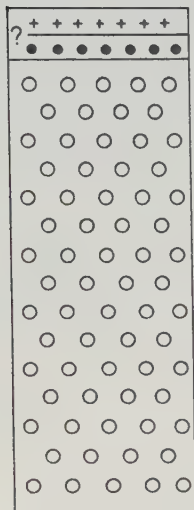
Die Zirkonvergesellschaftung der Söse-Grauwacke wird bestimmt von einem hohen Anteil idiomorpher Kristalle (Abb. 88), die wohl aus Granitoiden stammen (etwa 80 %). Darin sind ca. 12 % Granitoidzirkone mit Gneiskern enthalten. Mit einem gewissen Anteil an Gneismaterial im Liefergebiet der Söse-Grauwacke wird also zu rechnen sein. In diese Richtung weisen auch geringe Gehalte an Kornart A, deren Rundheit wahrscheinlich durch Prozesse der Metamorphose verursacht ist (vgl. Kap. 1.3.1) (künftig als Zirkone aus Orthogneisen bezeichnet). Zirkone der Kornart B sind nur zu knapp 2 % vertreten. Sie sind wohl Granuliten zuzurechnen, obwohl typische Granulit-zirkone selten sind. Sedimentzirkone stellen einen geringen Teil der Population (ca. 10 %).

4.4.3 Sieber Grauwacke

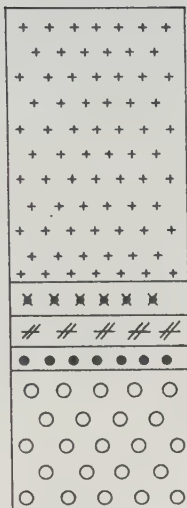
Das reichhaltigste Zirkonspektrum lieferte die Sieber-Grauwacke (Abb. 88). Etwa 60 % ihres Liefergebietes bestand aus Granitoiden. Ca. 7 % weisen einen Gneiskern auf, und etwa 6 % entstammen Orthogneisen. Kornart B (Granulit-zirkon) ist mit ungefähr 5 % vertreten. Typische Granulit-zirkone werden etwas häufiger angetroffen als bei der Söse-Grauwacke (in jedem Präparat ca. 1 - 2). Einen zusätzlichen Hinweis auf beträchtliche Metamorphitanteile im Liefergebiet bieten die hohen Granatgehalte der transparenten Schwermineralfraktion (Tab. 4).

Sedimentzirkone stellen einen durchschnittlichen Anteil von knapp 30 %. Die rosafarbenen Zirkone (meist Sedimentzirkone) dürften ebenfalls sehr alt sein (präkambrisch).

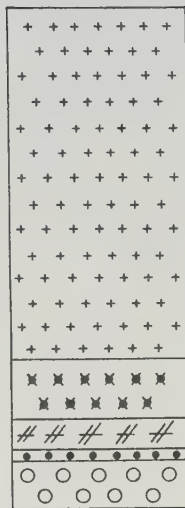
Kammquarzit +
Quarzitschiefer



Sieber -
Grauwacke



Söse -
Grauwacke



Granitoide



Granitoidmaterial anatektischen Ursprungs



Orthogneise



Granulite



Sedimentite (Sandsteine, Quarzite)

Abb. 88: Gesteinszusammensetzung der Liefergebiete
(abgeschätzt auf Grund charakteristischer Zirkone)

Ergebnis

Die drei untersuchten Gesteinskomplexe enthalten ein in sich homogenes, untereinander verglichen aber ein äußerst heterogenes Zirkonspektrum.

Das Liefergebiet der Quarzite bestand zum größten Teil aus psammitischen Sedimenten (Quarzite, Sandsteine). Die Söse-Grauwacke leitet sich vorwiegend von Granitoiden ab. Neben Granitoiden kommen bei der Sieber-Grauwacke zu etwa 30 % psammitische Sedimente als Liefergesteine in Frage.

Die absoluten Zirkongehalte sind korrelierbar mit dem Prozentsatz der Sedimentzirkone. Dieses Verhalten kann mit fortgesetzter Anreicherung des ultrastabilen Zirkonmaterials bei mehrfachen Umlagerungen interpretiert werden.

Im Zirkonspektrum eines Sedimentgesteins spiegeln sich in erster Linie die Gesteinsarten der Liefergebiete wieder. Rückschlüsse auf Länge des letzten Transportweges oder die Art des letzten Transportvorganges sind nicht oder nur in geringem Maße möglich, da hohe Rundheiten in der Regel erst nach sehr langen Transportwegen erzielt werden, wenn als Ausgangsform der idiomorphe Kristall vorausgesetzt wird. Dies erfordert im allgemeinen mehrere Durchgänge im Zirkonkreislauf und somit einen langen Zeitraum.

Eine einfache Charakterisierung von Zirkonvergesellschaftungen durch eine genetische Klassifikation ist möglich.

4.5 Cluster-Analyse der Sieber- und Söse-Grauwacke

Es wurden Cluster-Analysen durchgeführt, um zu überprüfen, ob hiermit die Proben aus der Söse-Grauwacke, die im Überlappungsbereich der Grauwacken im Rundheitsindex/Farbindex-Diagramm (Abb. 29) liegen (Proben SO 15, SO 32), auch mit der Cluster-Analyse als Söse-Grauwacke identifiziert werden können. Es wurden zur Clusterbildung nur Merkmale verwendet, die bei den beiden Grauwackenkomplexen deutlich verschiedene Verteilungskurven zeigen:

- 1) Rundheitsindex
- 2) Farbindex
- 3) Rundheitsindex der farblosen Körner
- 4) Gehalt an Kernform 1 (Verteilung 2)
- 5) Gehalt an Kernform 2 (Verteilung 2)
- 6) Gehalt an Art des Neuwachstums 2 (Verteilung 2)
- 7) Gehalt an Art des Neuwachstums 3 (Verteilung 2)
- 8) Gehalt an Körnern ohne Stäbchen
- 9) Gehalt an metamikten Zirkonen

Zur Anwendung kam das Programm CLUSTER aus DAVIS (1973:467ff.). Die Verwendung des Korrelationskoeffizienten zur Clusterbildung ergab unbefriedigende Ergebnisse. Es wurde deshalb der Abstandskoeffizient (distance coefficient) verwendet (vgl. DAVIS 1973:466: "Distance matrices usually cluster more successfully than do correlation matrices, ...").

Im Dendrogramm der Cluster-Analyse für alle Merkmale (Abb. 89 a, b)

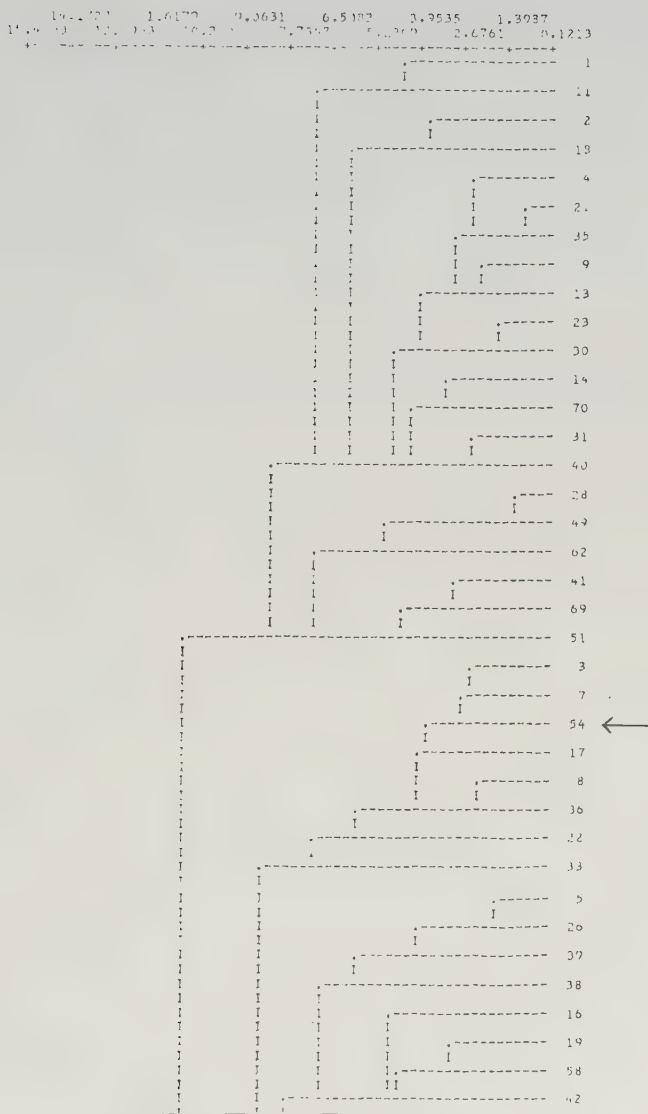


Abb. 89a: Dendrogramm (Teil 1) der Cluster-Analyse von Sieber-Grauwacke (Nr. 1 - 40) und Söse-Grauwacke (Nr. 41 - 74) auf Grund von 9 ausgewählten Merkmalen. Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten. Nähere Erläuterungen s. Text.

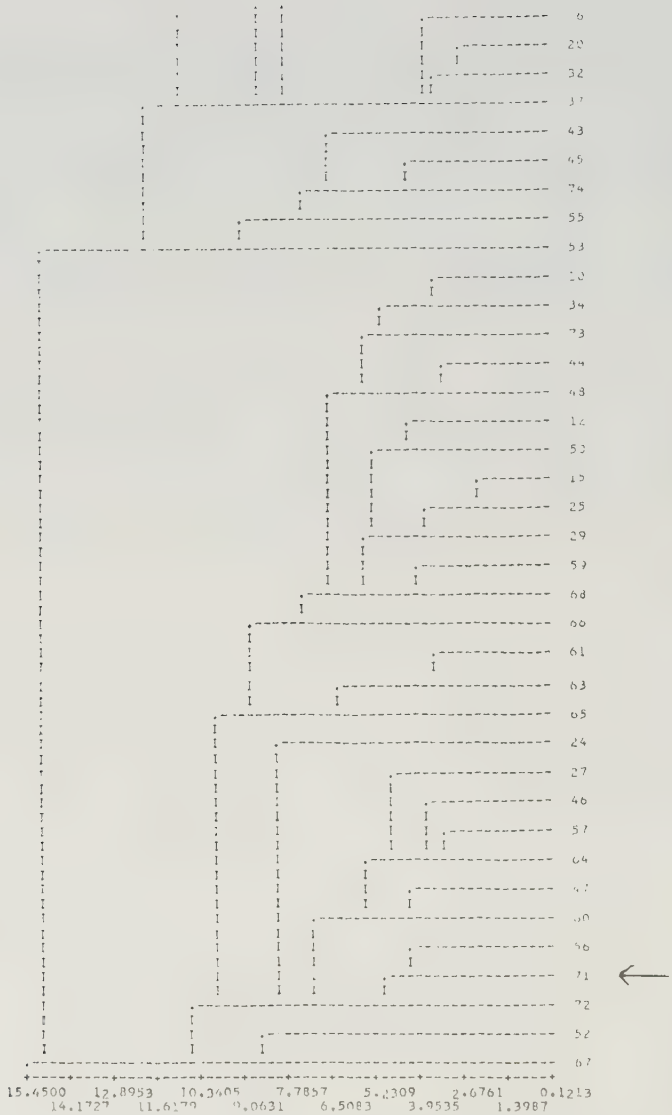


Abb. 89b: Dendrogramm (Teil 2) der Cluster-Analyse von Sieber-Grauwacke (Nr. 1 - 40) und Söse-Grauwacke (Nr. 41 - 74) auf Grund von 9 ausgewählten Merkmalen
Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten
Nähere Erläuterungen s. Text

zeigt sich, daß eine der beiden Proben aus dem Überlappungsbereich (SO 32 = Nr. 71 der Abb. 89; Pfeil) deutlich innerhalb eines Clusters liegt, in dem fast nur Söse-Grauwacken-Proben vorkommen. Probe SO 15 (= Nr. 54 der Abb. 89) liegt jedoch voll innerhalb eines Sieber-Grauwacke-Clusters.

Daraufhin wurden Cluster-Analysen zwischen den Merkmalen 1 - 9 durchgeführt, um zu überprüfen, welche Merkmale innerhalb der lithologischen Komplexe ähnlich sind und möglicherweise eine erfolgreichere Clusterbildung ermöglichen können.

Mit Hilfe des Abstandskoeffizienten (Abb. 90, 91) ergeben sich Cluster mit hoher Ähnlichkeit für

Cluster 1: Merkmal 1 - 3, 7, 9

und nach Weglassen von Merkmal 7 (niedrigste Ähnlichkeit zum Cluster 1 - 3, 9 in Abb. 91)

Cluster 2: Merkmal 1 - 3, 9

Bei Verwendung des Korrelationskoeffizienten ist die Ähnlichkeit nur zwischen Merkmal 1 und 3 sehr hoch (Abb. 92, 93). Als sinnvolle Cluster können noch angesehen werden:

Cluster 3: Merkmal 1, 3, 8

Cluster 4: Merkmal 5, 7, 9

Für die Clusterbildung innerhalb aller Proben auf Grund der selektiven Cluster innerhalb der Merkmale wurde wieder der Abstandskoeffizient verwendet (s o.)

Im Dendrogramm (Abb. 94a, b) der Cluster-Analyse für die Merkmale 1 - 3, 7, 9 (Cluster 1) zeigt sich ein ähnliches Verhalten wie bei Verwendung aller Merkmale (Abb. 89a, b). SO 32 (= Nr. 71 (Pfeil)) liegt in einem Söse-Grauwacken-Cluster und SO 15 (= Nr. 54 (Pfeil)) wurde zur Sieber-Grauwacke geclustert.

Läßt man jedoch Merkmal 7 weg (Cluster 2; Abb. 95a, b), zeigen sich genau umgekehrte Verhältnisse.

Für die Merkmale 1, 3, 8 (Cluster 3; Abb. 96a, b) liegen die fraglichen Proben (Pfeile) voll in Söse-Grauwacken-Clustern.

Das Dendrogramm der Merkmale 5, 7, 9 (Cluster 4; Abb. 97a, b) ordnet wiederum SO 32 (= Nr. 71 (Pfeil)) der Söse-Grauwacke zu, während SO 15 (= Nr. 54 (Pfeil)) im Sieber-Cluster liegt.

Zusammenfassend darf angenommen werden, daß die Probe SO 32 (= Nr. 71 der Abb.) höchstwahrscheinlich nicht zur Sieber-Grauwacke gehört. In 4 von 5 Dendrogrammen wird sie der Söse-Grauwacke zugeordnet. Für Probe SO 15 (= Nr. 54 der Abb.) kann auf Grund der Cluster-Analyse nicht entschieden werden, welchem lithologischen Komplex sie entstammt. In 2 von 5 Fällen wird sie der Söse-Grauwacke zugeordnet, wobei die selektive Verwendung der Merkmale jedoch Übergewicht haben dürfte (Cluster 1 - 4; Abb. 94 - 97). Hier herrscht dann Gleichheit bei der Zuordnung. Ihre Herkunft bleibt demnach auf Grund der Cluster-Analyse nicht eindeutig.

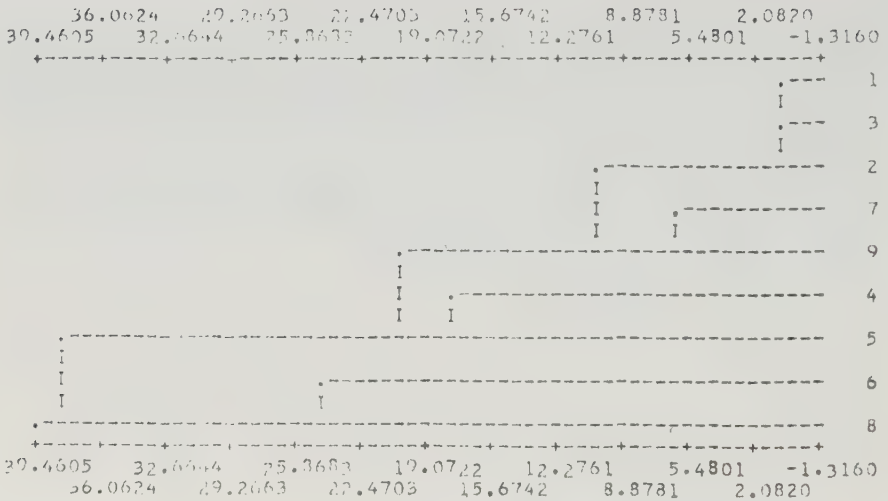


Abb. 90: Dendrogramm der Cluster-Analyse innerhalb der 9 Merkmale (s. Text) für die Söse-Grauwacke
 Verwendet wurde der Abstandskoeffizient
 Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten

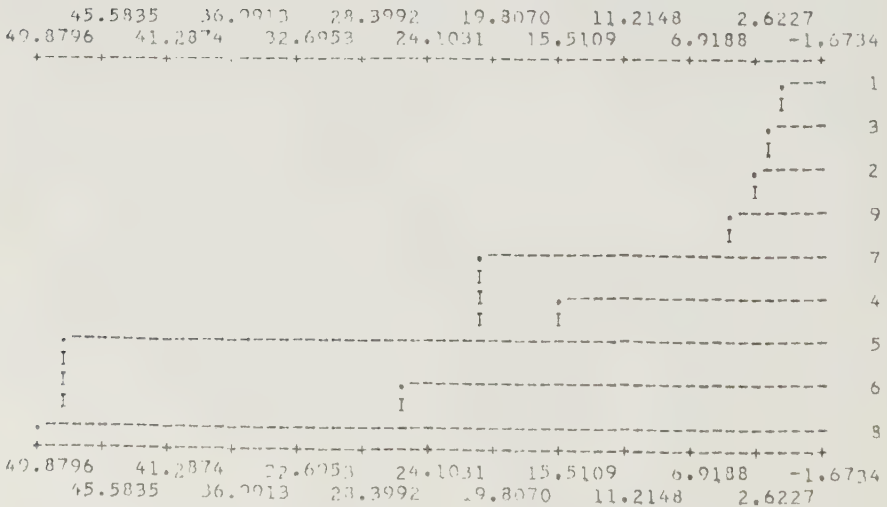


Abb. 91: Dendrogramm der Cluster-Analyse innerhalb der 9 Merkmale (s. Text) für die Sieber-Grauwacke
 Verwendet wurde der Abstandskoeffizient
 Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten

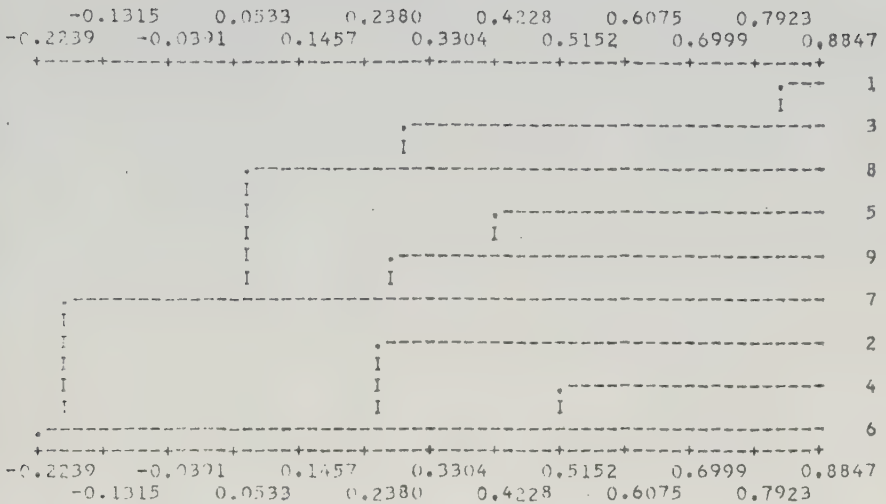


Abb. 92: Dendrogramm der Cluster-Analyse innerhalb der 9 Merkmale (s. Text) für die Söse-Grauwacke
Verwendet wurde der Korrelationskoeffizient
Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten

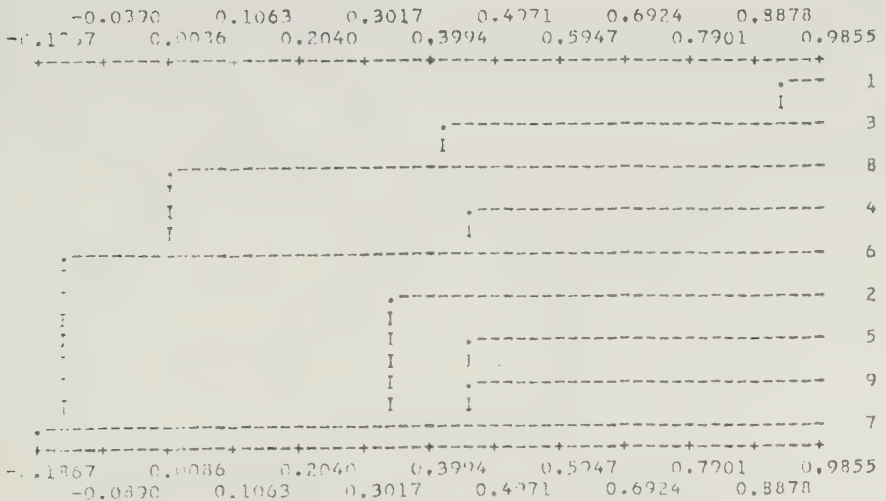


Abb. 93: Dendrogramm der Cluster-Analyse innerhalb der 9 Merkmale (s. Text) für die Sieber-Grauwacke
Verwendet wurde der Korrelationskoeffizient
Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten

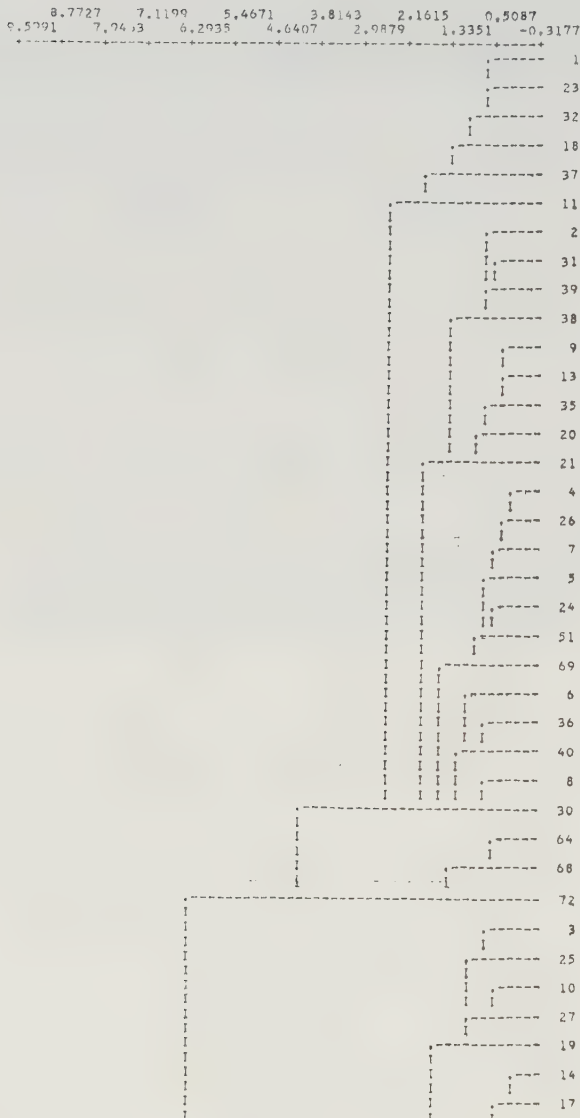


Abb. 94a: Dendrogramm (Teil 1) der Cluster-Analyse von Sieber-Grauwacke (Nr. 1 - 40) und Söse-Grauwacke (Nr. 41 - 74) auf Grund der Merkmale 1 - 3, 7, 9
Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten
Nähere Erläuterungen s. Text

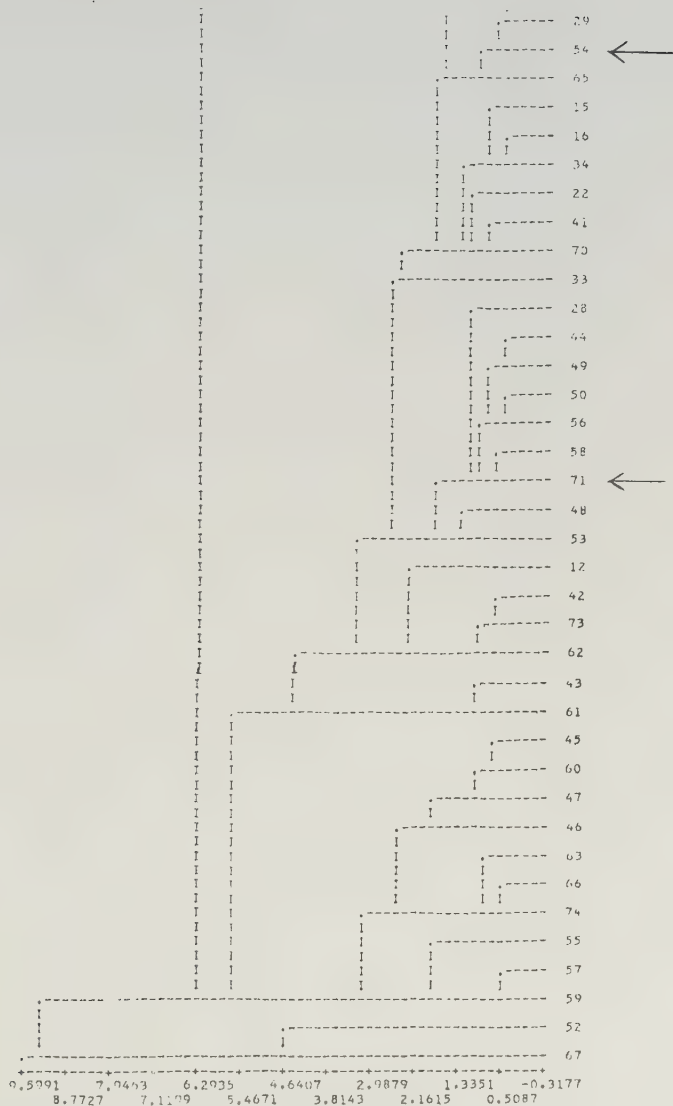


Abb. 94b: Dendrogramm (Teil 2) der Cluster-Analyse von Sieber-Grauwacke (Nr. 1 - 40) und Söse-Grauwacke (Nr. 41 - 74) auf Grund der Merkmale 1 - 3, 7, 9
Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten
Nähere Erläuterungen s. Text

1	100	1,5337	2,4764	1,4102	0,2500
2	100	3,0796	1,7473	0,9801	-0,1802

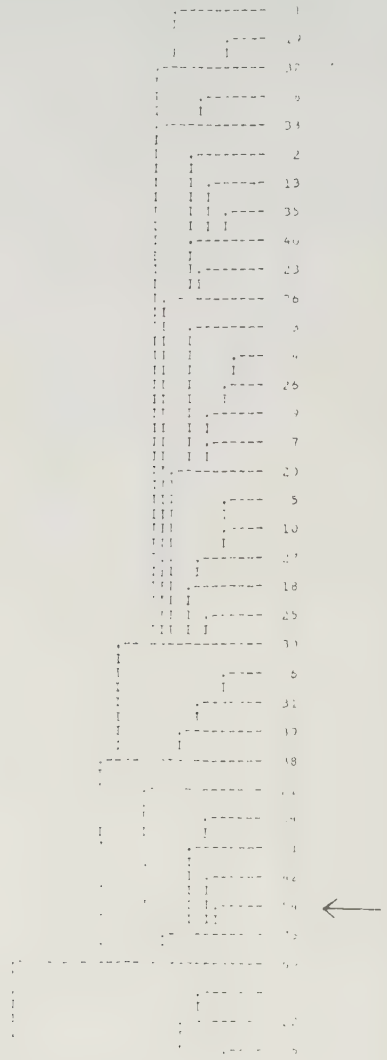


Abb. 95a: Dendrogramm (Teil 1) der Cluster-Analyse von Sieber-Grauwacke (Nr. 1 - 40) und Söse-Grauwacke Nr. 41 - 74) auf Grund der Merkmale 1 - 3, 9

Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten
Nähere Erläuterungen s. Text

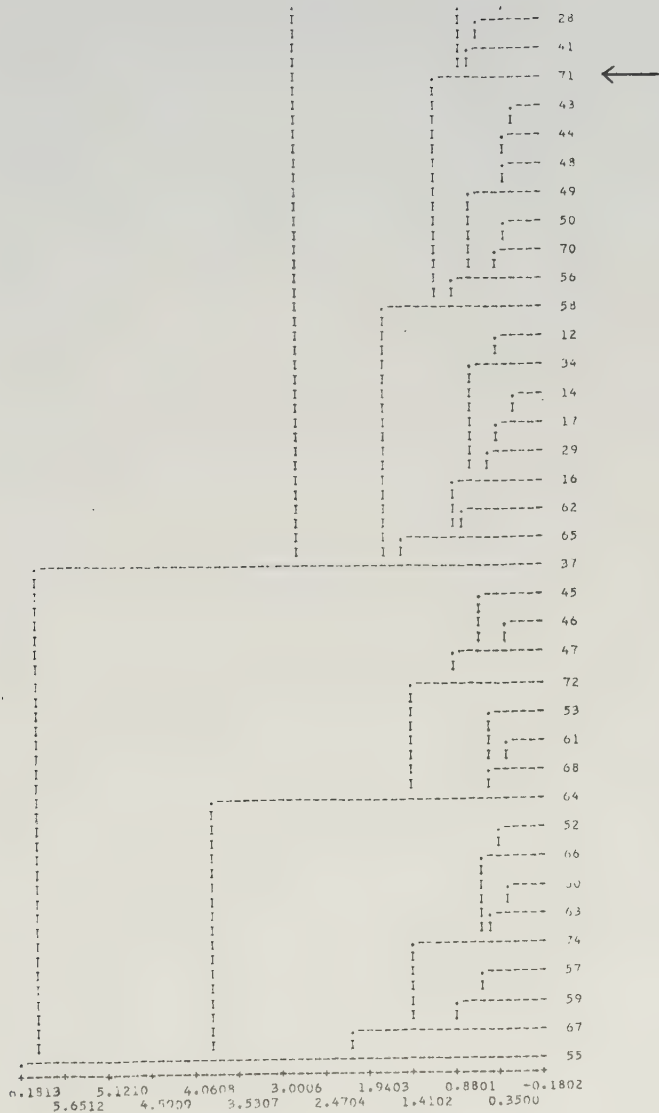


Abb. 95b: Dendrogramm (Teil 2) der Cluster-Analyse von Sieber-Grauwacke (Nr. 1 - 40) und Söse-Grauwacke (Nr. 41 - 74) auf Grund der Merkmale 1 - 3, 9
Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten
Nähere Erläuterungen s. Text

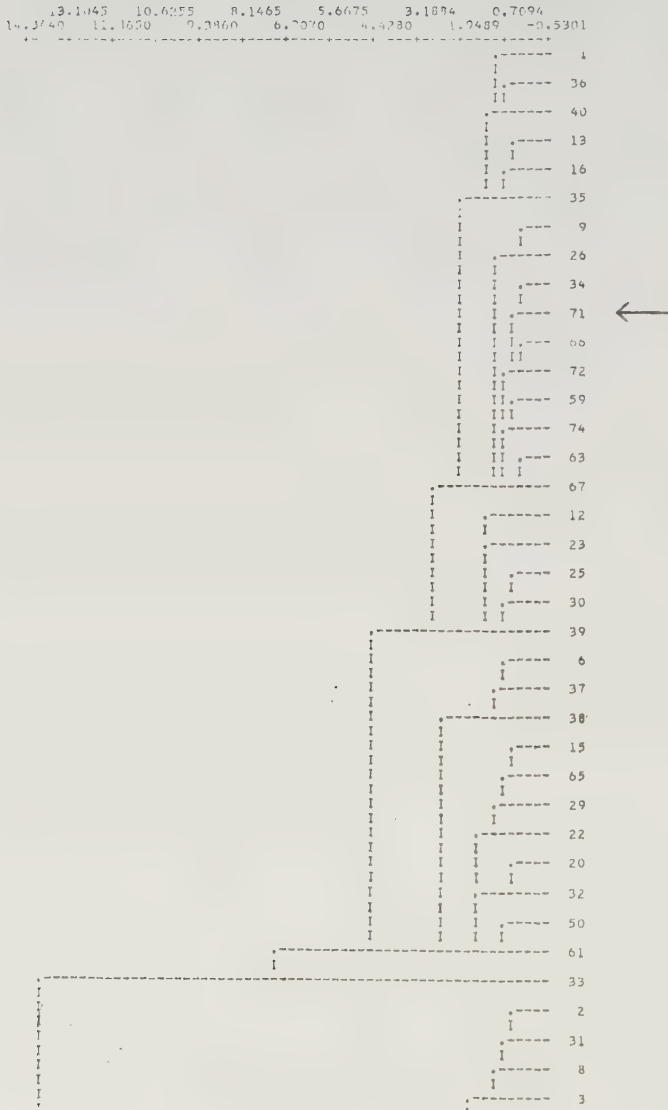


Abb. 96a: Dendrogramm (Teil 1) der Cluster-Analyse von Sieber-Grauwacke (Nr. 1 - 40) und Söse-Grauwacke (Nr. 41 - 74) auf Grund der Merkmale 1, 3, 8

Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten
Nähere Erläuterungen s. Text

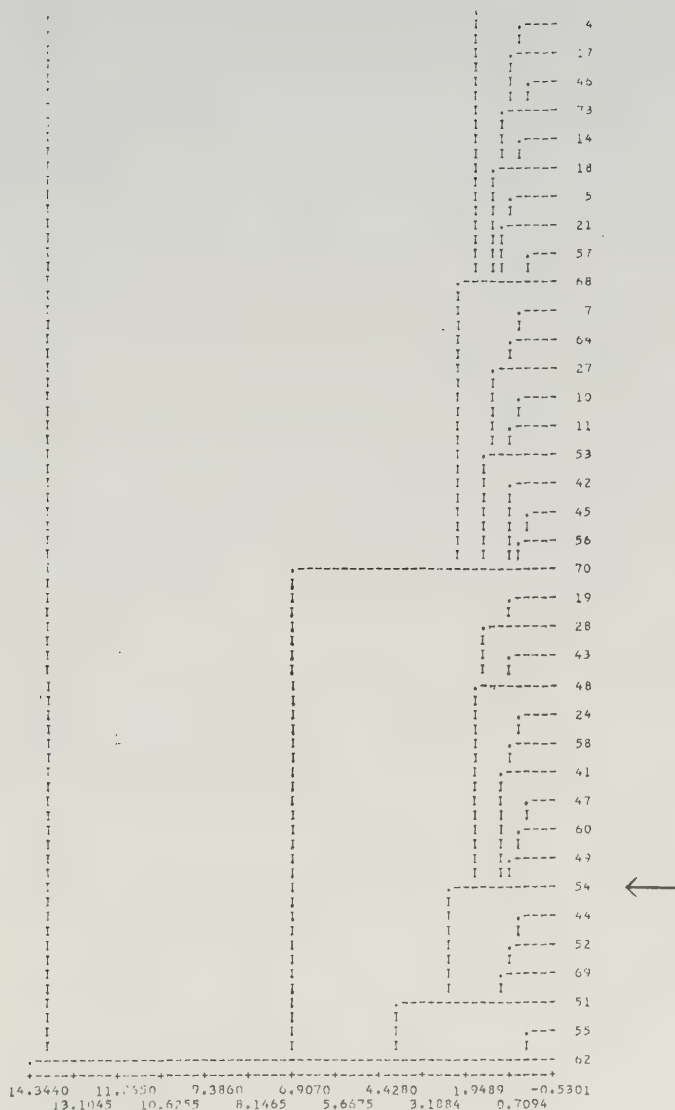


Abb. 96b: Dendrogramm (Teil 2) der Cluster-Analyse von Sieber-Grauwacke (Nr. 1 - 40) und Söse-Grauwacke (Nr. 41 - 74) auf Grund der Merkmale 1, 3, 8

Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten
Nähere Erläuterungen s. Text

13.9297	11.7352	9.7627	6.1791	3.5956	1.0120
15.2215	12.6340	10.0567	7.4709	4.3873	2.3038
					-0.2797

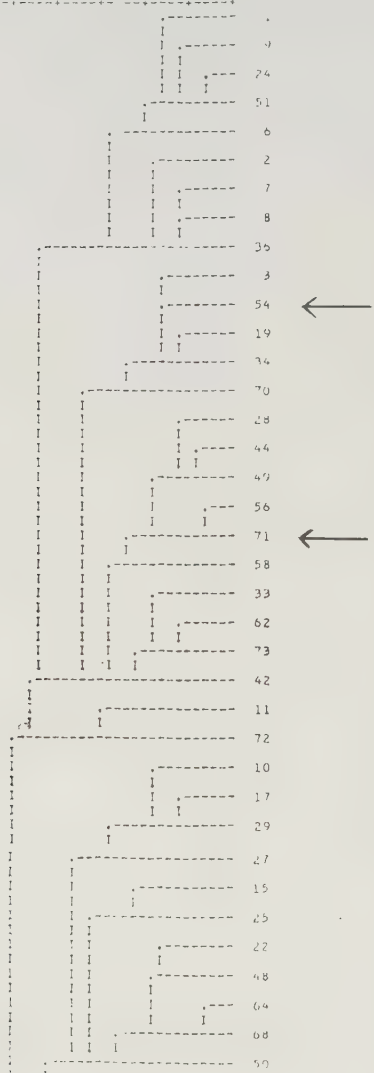


Abb. 97a: Dendrogramm (Teil 1) der Cluster-Analyse von Sieber-Grauwacke (Nr. 1 - 40) und Söse-Grauwacke (Nr. 41 - 74) auf Grund der Merkmale 5, 7, 9. Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten. Nähere Erläuterungen s. Text.

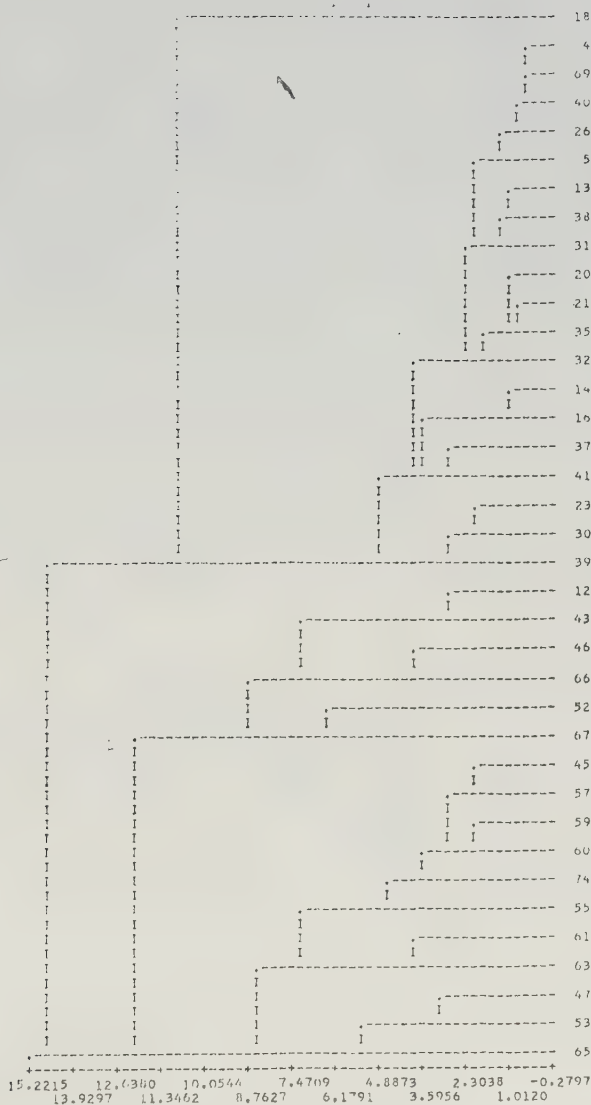


Abb. 97b: Dendrogramm (Teil 2) der Cluster-Analyse von Sieber-Grauwacke (Nr. 1 - 40) und Söse-Grauwacke (Nr. 41 - 74) auf Grund der Merkmale 5, 7, 9
Die Werte auf der x-Achse zeigen die Ähnlichkeiten
Nähere Erläuterungen s. Text

5 Paläogeographische Verhältnisse

5.1 Ablagerungsraum

Wie aus Vorstehendem zu schließen ist, erfolgte die Ablagerung der drei lithologischen Komplexe in voneinander - zumindest regional - getrennten Beckenbereichen, die wenigstens im Falle von Kammquarzit und Quarzitschiefer deutlich in sich untergliedert gewesen sein müssen (Abb. 98). Hierzu bietet sich eine aus extrusiven Diabasen aufgebaute Schwelle an (vgl. Kap. 1.2.2). Der Schwellenzug zwischen den Trögen von Kammquarzit und Sieber-Grauacke wird als Lonauer Schwelle bezeichnet (SOLANWAR 1978:101ff.). Zwischen den Beckenbereichen von Kammquarzit/Quarzitschiefer und Söse-Grauacke wird - schon ab Oberdevon - ebenfalls ein Schwellenzug anzunehmen sein, worauf schon AGIRI (1969:107) und PUTTRICH (1972:129) hinwiesen. Inwieweit diese drei Beckenbereiche auch zeitlich nebeneinander existierten, ist erst noch durch genauere Festlegungen insbesondere der Obergrenzen der Klastitkomplexe zu bestimmen. Ein zeitliches Nebeneinander der Ablagerungsräume von Sieber-Grauacke, Kammquarzit + Quarzitschiefer und Söse-Grauacke ist auf Grund der vorliegenden Datierungen nicht zwingend (vgl. Kap. 1.2).

Die Vorstellung vom Übergreifen der Grauackeformation über die Quarzsande des Acker-Bruchberg-Ilsenburg-Raumes" (BURCHARDT 1977b) wird zu revidieren sein, da die Verschiedenheit der Liefergebiete der beiden Grauackekomplexe jetzt auch durch die Zirkonanalyse hinreichend gesichert ist.

5.2 Herkunft der Klastika

Häufig findet man in den Grauacke Marken, die die Fließrichtung des sedimenttransportierenden Mediums anzeigen. Diese sind entsprechend oft ausgewertet worden, und eine kurze Zusammenstellung soll hier gegeben werden:

- Die Söse-Grauacke stammt aus SW' bis auch S' Richtungen (PLESSMANN 1961:Abb. 39).
- Für die Sieber-Grauacke gibt WACHENDORF (1966:Abb. 5) Herkunftsrichtungen von SSW bis WSW an.

Für beide Grauackekomplexe darf man wohl beckenparallele Schüttungen annehmen.

- In den Quarziten sind Marken, die die Strömungsrichtung anzeigen, selten. Die Abnahme von Mächtigkeit und Ausstrichbreite des Kammquarzits nach SW (PAECH 1973:Abb. 1) deuten zunächst eine Schüttung in diese Richtung an. Strömungsmarken des Gommernquarzits weisen jedoch $\pm$ nach E (PAECH 1973:Abb. 9). Frühere Untersuchungen (TRAUTNITZ 1978) an Internstrukturen in Quarzitbänken des Quarzitschiefer zeigten ebenso Sedimentbewegungen nach ENE bis SSW, während REICHEL (1978) im Kammquarzit des Allerzuges Schüttungsrichtungen vorwiegend nach NNW fand. Das Einfingern des Kammquarzits von NE in den Quarzitschiefer-Faziesbereich (Abb. 2; K.-D. MEYER 1965:Taf. 21) macht die Herkunft aus NW' Richtungen wiederum wahr-

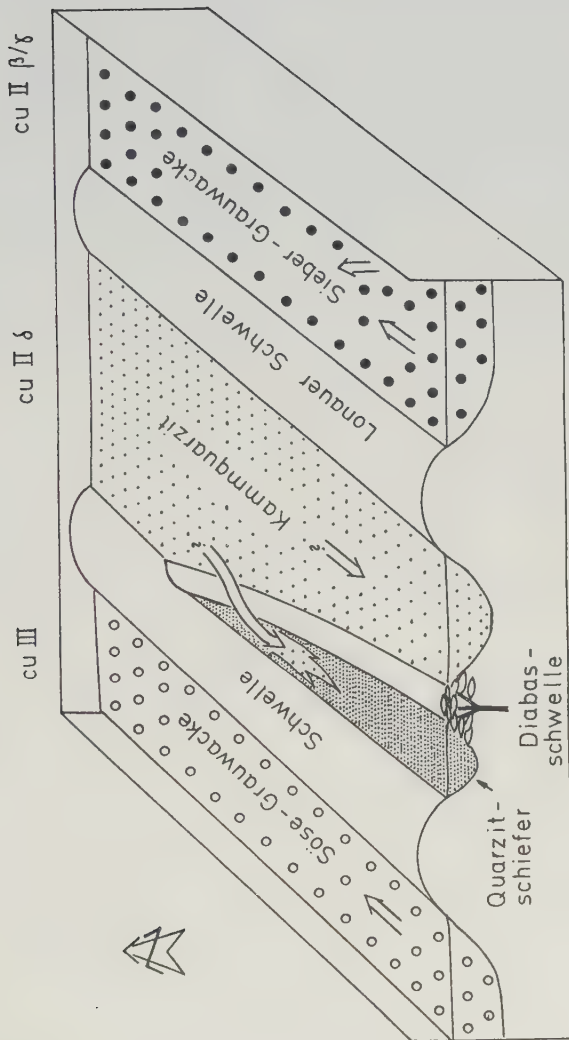


Abb. 98: Paläogeographische Skizze für den Ablagerungsraum von Sieber-Grauwacke, Kammquarzit/Quarzitschiefer und Söse-Grauwacke für den Zeitraum cu II β/γ - cu III

scheinlicher.

Die angeführten, gegensätzlichen Beobachtungen zeigen, daß die Herkunft des Kammquarzits noch längst nicht zweifelsfrei geklärt ist (vgl. BURCHARDT 1977a:113). Eine beckenparallele Schüttung darf jedoch als gesichert gelten (BURCHARDT 1977a, b; HOMRIGHAUSEN 1979).

Somit ergeben sich für Grauwacken und Quarzite u.U. diametral entgegengesetzte Liefergebiete (Abb. 98). Auch die Zirkonanalyse belegt verschiedene Herkunftsgebiete der Klastika.

Es darf angenommen werden, daß die Schichten im Liegenden des Kammquarzits sich von anderen Gesteinen als denen im Liefergebiet des Kammquarzits ableiten, da Ortberg-Sandstein und Glimmerquarzit wesentlich andere Zirkonvergesellschaftungen enthalten (Abb. 29). Offenbleiben muß hier aber vorläufig die Frage nach den Herkunftsrichtungen. Die unmittelbare Zusammengehörigkeit des Kammquarzits vom Acker- Bruchberg und vom Wollenberg (Hörre) wird auch im Zirkoninhalt deutlich (Abb. 29).

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Hinblick auf die Problemstellung konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

1) Psammitführende Komplexe können sehr gut an ihren Zirkoninhalten unterschieden werden. Als besonders geeignet erwies sich die Untersuchung der Rundheitsgrad- und Farbabstufungsverteilungen. Andere Merkmale (z.B. Tracht, Brüche, Inklusionen usw.) können u.U. auch zu einer Klassifikation verwendet werden. Im Einzelfall müssen Übersichtsbetrachtungen durchgeführt werden, um charakteristische Merkmale zu ermitteln. Eine Klassifikation der Zirkonkörner nach ihrer Genese ist möglich, erfordert jedoch wegen der mannigfachen Konvergenzerscheinungen einen geübten Zirkonanalytiker.

2) Die Zirkonanalyse eines Sedimentkomplexes vermittelt einen annähernden Überblick über die im Liefergebiet anstehenden Gesteine, sofern diese Zirkon in ausreichender Menge, Größe und in einer charakteristischen Ausbildung enthalten. Es bietet sich eine gute Ergänzung zur Konglomeratanalyse an.

Die untersuchten Gesteine betreffend kann ausgesagt werden:

Die reinen Kammquarzitsande sind ein Produkt polyzyklischer Vorgänge. Die Vorstellung BURCHARDT's (1977a:110), daß "Das fast ausschließliche Auftreten von Quarzkörnern in den Quarzsandsedimenten bei geringen bis fehlenden Feldspatgehalten und das allgemeine Fehlen von Gesteinsbruchstücken" ... "sich nur durch Ableitung von einem saueren Magmangestein oder eines sich davon ableitenden Sedimentgesteins erklären" läßt, dürfte wohl zu verlassen sein. Die Untersuchungen HOMRIGHAUSEN's (1979:65) deuten in die gleiche Richtung.

Sieber- und Söse-Grauwacke entstammen zeitlich und/oder regional verschiedenen Liefergebieten.

Auch die Sieber-Grauwacke enthält einen beträchtlichen Anteil polyzyklischer Zirkone.

3) Die Grauwacken kommen auf keinen Fall als Ausgangsmaterial für die Quarzite in Frage. Durch einen einzigen Umlagerungsvorgang können die hohen Rundheitsgrade der Quarzit-Zirkone nicht erzielt worden sein. Auch selektive Zerstörung innerhalb relativ kurzer Zeiträume erklärt den hohen Gehalt der Quarzite an rosafarbenen Zirkonen kaum. Aus der Verschiedenheit der Trachtverteilungen und aus den Größenverhältnissen der rosafarbenen Zirkone müssen unterschiedliche Liefergebiete gefordert werden.

Die Ansicht KOCHMANN's (1968a:115), daß Kammquarzitmaterial nach NW in das Faziezgebiet der Söse-Grauwacke vorgeschüttet wurde, kann nicht mehr aufrecht erhalten werden. Drei Proben (SO 33 - SO 35) vom genannten Fundpunkt lieferten eindeutig Zirkone, die der Söse-Grauwacken-Population zuzurechnen sind.

4) Es kann gezeigt werden, daß der Quarzit-schiefer den gleichen Zirkoninhalt aufweist wie der Kammquarzit. Er stellt zweifelsfrei die quarzitarme Fazies des Kammquarzits dar.

7 Probenverzeichnis

Die Schwermineral- bzw. Zirkonpräparate werden im Geologischen Institut der Universität Erlangen aufbewahrt.

Die folgenden Probenbeschreibungen entstammen den Geländeansprachen.

Erklärung der Abkürzungen:

A.	Anstehendes	I	L.	Lesestein
dkl.	dunkel	I	m.	mittel-
f.	fein-	I	Qzt.	Quarzit
FI	Farbindex der	I	qzt.	quarzitisch
	Zirkone	I	RI	Rundheitsindex
gr.	grau	I		der Zirkone
grünl.	grünlich	I	schm.	schmutzig
Gw.	Grauwacke	I	Sdst.	Sandstein
h.	hart	I	Tonfl.	Tonflatschen
he.	hell	I	Tonschm.	Tonschmitzen
kö.	körnig	I	w.	weich
kongl.	konglomeratisch	I	ws.	weiß

7.1 Sieber-Grauwacke

- SI 01: Dkl.grüngr., f.-m.kö., m.h. Gw.; A.
R 35 97920 H 57 31960
RI = 4,16; FI = 1,73
- SI 02: Gr., f.kö., m.h. Gw. mit Tonschm.; L.
R 35 98030 H 57 30940
RI = 3,91; FI = 2,28
- SI 03: Dkl.grüngr., f.-m.kö. mh. Gw.; A.
R 35 98180 H 57 30165
RI = 3,55; FI = 2,91
- SI 04: Dkl.grüngr., f.kö., m.h. Gw.; L.
R 35 99085 H 57 31070
RI = 2,73; FI = 2,22
- SI 05: Dkl. grüngr., m.kö., m.h.-w. Gw.; A.
R 35 99090 H 57 32025
RI = 2,32; FI = 2,39
- SI 06: Gr., f.kö., m.h. Gw.; A.
R 36 00215 H 57 31060
RI = 3,50; FI = 2,31
- SI 07: Dkl.grüngr., m.kö., z.T. f.kongl., m.h. Gw. mit Tonfl.; L.
R 36 00100 H 57 31965
RI = 2,41; FI = 2,74
- SI 08: Dkl.grüngr., f.kö., m.h. Gw. mit Tonschm.; A.
R 36 00945 H 57 31985
RI = 3,43; FI = 3,12
- SI 09: Dkl.grüngr., f.-m.kö., z.T. f.kongl., m.h.-w. Gw.; A.
R 36 00810 H 57 30920
RI = 2,84; FI = 1,99
- SI 10: Dkl.grüngr., f.kö., m.h. Gw.; A.
R 35 98875 H 57 30185
RI = 2,39; FI = 2,81
- SI 11: Dkl.grüngr., f.kö., m.h. Gw.; A.
R 35 96815 H 57 28840
RI = 2,92; FI = 1,54
- SI 12: M.gr., f.-m.kö., m.h. Gw.; L.
R 35 96120 H 57 30000
RI = 2,48; FI = 2,27
- SI 13: Dkl.grüngr., m.-grob-kö., m.h. Gw. mit Tonfl.; A.
R 35 97000 H 57 29935
RI = 3,21; FI = 2,13

- SI 14: Rötlich-gr., m.k., m.h. Gw.; A.
R 35 95980 H 57 29170
RI = 2,37; FI = 2,04
- SI 15: Dkl.grüngr., m.kö., m.h. Gw.; A.
R 35 96945 H 57 31020
RI = 2,63; FI = 2,93
- SI 16: Dkl.grüngr., m.kö., m.h.-w. Gw. ; A.
R 35 96965 H 57 31825
RI = 2,78; FI = 2,77
- SI 17: M.gr., m.kö., h., qzt. Gw. mit Tonschm.; A.
R 35 96305 H 57 31815
RI = 2,44; FI = 2,09
- SI 18: M.gr., m.kö., h., qzt. Gw.; L.
R 35 96145 H 57 31080
RI = 2,74; FI = 2,70
- SI 19: Dkl.grüngr., m.kö., w., schm. Sdst.; A.
R 35 95120 H 57 31875
RI = 2,87; FI = 1,58
- SI 20: Dkl.grüngr., m.kö., m.h. Gw.; A.
R 35 95240 H 57 31165
RI = 2,80; FI = 3,14
- SI 21: M.grüngr., m.kö., m.h. Gw. mit Tonfl.; L.
R 35 94925 H 57 30170
RI = 2,55; FI = 2,16
- SI 22: Dkl.grüngr., m.kö., m.h., qzt., schm. Sdst.; L.
R 35 98310 H 57 33040
RI = 3,15; FI = 1,97
- SI 23: Dkl.grüngr., m.-grobkö., m.h.-w. Gw.; A.
R 35 99060 H 57 32690
RI = 3,66; FI = 2,04
- SI 24: M.grüngr., m.kö., m.h. Sdst. mit Tonschm.; L.
R 35 99815 H 57 33770
RI = 2,41; FI = 1,57
- SI 25: Dkl.grüngr., m.kö., m.h. schm. Gw.; L.
R 36 00170 H 57 32880
RI = 3,32; FI = 3,36
- SI 26: M.grüngr., f.-m.kö., m.h. Gw.; A.
R 36 01000 H 57 34100
RI = 2,87; FI = 2,39
- SI 27: Gr., m.kö., m.h., Gw.; A.

R 36 01920 H 57 33990
RI = 2,67; FI = 2,72

SI 28: M.gr., m.-grobkö., sehr h. Gw.; A.
R 36 00815 H 57 32890
RI = 2,63; FI = 2,64

SI 29: Gr., m.kö., sehr h. Gw.; A.
R 36 01770 H 57 33060
RI = 2,40; FI = 2,61

SI 30: M.grüngr., f.-m.kö., m.h. Gw.; A.
R 36 02265 H 57 31690
RI = 3,24; FI = 2,61

SI 31: Dkl. rötlichgr., m.kö. m.h. Gw.; A.
R 36 02945 H 57 32780
RI = 3,78; FI = 2,08

SI 32: Dkl.grüngr., f.-m.kö., m.h. kontaktmetamorphe Gw.(Hornfels);
A.
R 36 03250 H 57 33890
RI = 3,27; FI = 1,50

SI 33: Dkl.grüngr., f.kö., m.h., karbonatisch gebundene Gw.; L.
R 35 99215 H 57 34180
RI = 4,31; FI = 3,91

SI 34: Dkl.grüngr., f.-m.kö., m.h. feldspatreiche Gw.; L.
R 36 02330 H 57 34815
RI = 2,64; FI = 2,78

SI 35: Dkl.gr., f.kö., h., kontaktmetamorphe Gw.; L.
R 36 02920 H 57 35025
RI = 3,22; FI = 1,59

SI 36: Gr., f.kö., h., kontaktmetamorphe Gw.; A.
R 36 03010 H 57 36200
RI = 3,80; FI = 1,39

SI 37: Gr., f.-m.kö., m.h., kontaktmetamorphe Gw., L.
R 36 03220 H 57 37085
RI = 4,32; FI = 1,59

SI 38: Dkl.grüngr., f.-m.kö., w. Gw.; L.
R 36 03890 H 57 36020
RI = 4,85; FI 1,75

SI 38: Gr., f.kö., h. Gw.; L.
R 36 05045 H 57 35795
RI = 3,92; FI = 1,32

SI 40: Dkl.grüngr., m.kö., w. Gw.; L.

R 36 05330 H 57 35000
RI = 3,31; FI = 1,20

7.2 Kammquarzit

K 01: Ws., f.kö., h.-m.h. Qzt.; A.
R 35 97980 H 57 36840
RI = 8,04; FI = 4,63

K 02: M.gr., f.kö., h. Qzt.; L.
R 35 98970 H 57 37845
RI = 6,95; FI = 2,71

K 03: M.-he gr., f.kö., h. Qzt.; A.
R 36 01030 H 57 39925
RI = 7,53; FI = 5,28

K 04: Ws., f.kö., h. Qzt.; A.
R 36 01835 H 57 39840
RI = 7,90; FI = 4,87

K 05: He.grünl., f.kö., h. Qzt.; A.
R 35 93930 H 57 33120
RI = 7,14; FI = 5,88

K 06: Ws., f.kö., sehr h. Qzt.; A.
R 35 94000 H 57 31980
RI = 7,02; FI = 5,77

K 07: He.grünl.gr., f.-m.kö., h., feldspatführender Qzt; A.
R 35 97225 H 57 35140
RI = 7,18; FI = 6,78

K 08: Ws., f.kö., h., feldspatführender Qzt; A.
R 35 98000 H 57 35365
RI = 6,80; FI = 5,04

K 09: He.gr., f.-m.kö., h. Qzt; L.
R 35 99030 H 57 36100
RI = 7,66; FI 5,82

K 10: Dkl.gr., m.kö., m.h., schm. Sdst.; A.
R 35 98295 H 57 36110
RI = 6,21; FI 7,19

K 11: Ws., f.kö., m.h. Qzt mit Tonschm. und Tonfl.; A.
R 35 97260 H 57 36045
RI = 7,48; FI = 4,95

K 12: Gr., f.kö., m.h., schm. Sdst.; A.
R 35 97440 H 57 32990

RI = 6,44; FI = 6,70

K 13: He.gr., f.kö., m.h. Sdst. mit Tonschm.; A.

R 35 97260 H 57 33840

RI = 6,98; FI = 5,71

K 14: Ws., f.kö., w. Qzt; A.

R 35 98315 H 57 34155

RI = 7,38; FI = 5,39

K 15: Dkl.gr., f.kö., w., Sdst. mit Tonfl.; A.

R 35 94945 H 57 33195

RI = 5,04; FI = 5,47

K 16: Ws., f.kö., m.h., Qzt. mit Tonschm.; A.

R 35 95825 H 57 33040

RI = 7,16; FI = 6,05

K 17: Rötlich-ws.; f.kö., m.h., Qzt; L

R 35 95980 H 57 33975

RI = 6,67; FI = 4,93

K 18: M.rötlich-gr., f.kö., sehr h. Qzt; A.

R 35 95210 H 57 33825

RI = 6,70; FI = 5,62

K 19: M.grüngr., f.kö., h.-m.h. Qzt.; L.

R 35 99285 H 57 34700

RI = 7,10; FI = 5,55

K 20: Ws., f.-m.kö., m.h. Qzt; L.

R 36 00080 H 57 35220

RI = 6,95; FI = 4,83

K 21: Ws., f.-m.kö., m.h. Qzt ; L

R 36 00925 H 57 35340

RI = 6,98; FI = 5,51

K 22: Ws., f.kö., m.h. Qzt; A.

R 36 00120 H 57 36050

RI = 7,23; FI = 6,11

K 23: Ws.-he.grünl., f.kö., h.-m.h. Qzt.; L.

R 36 01050 H 57 36025

RI = 7,65; FI = 4,04

K 24: Ws., f.kö., h. Qzt; A.

R 36 01490 H 57 36185

RI = 6,18; FI = 5,08

K 25: Ws., f.kö., h. Qzt. mit Tonschmitzen; L.

R 36 00845 H 57 37155

RI = 5,99; FI = 5,89

- K 26: M. rötlich-gr., f.kö., m.h. Qzt.; L.
R 35 99880 H 57 37000
RI = 6,06; FI = 6,74
- K 27: He.grünl., f.kö., h. Qzt; A.
R 35 99340 H 57 37080
RI = 6,20; FI = 5,93
- K 28: Ws., f.kö., h. Qzt. mit Tonschmitzen; A.
R 36 00935 H 57 39385
RI = 6,92; FI = 6,31
- K 29: He.gr., f.kö., sehr h. Qzt mit Tonschm.; A.
R 36 00345 H 57 38870
RI = 6,23; FI = 4,75
- K 30: Rötlich-ws., f.kö., m.h. Qzt.; A.
R 35 99920 H 57 37950
RI = 7,63; FI = 4,43
- K 31: Ws., f.kö., h. Qzt. mit Tonschmitzen; A.
R 36 01035 H 57 38060
RI = 7,14; FI = 3,74
- K 32: Ws., f.kö., m.h. Qzt; L.
R 36 03160 H 57 38140
RI = 7,18; FI = 5,50
- K 33: Ws., f.kö., m.h. Qzt. mit Tonschmitzen; L.
R 36 03000 H 57 38840
RI = 6,57; FI = 5,84
- K 34: Ws., f.kö., m.h. Qzt mit roten Tonfl.; L.
R 36 02275 H 57 39085
RI = 6,05; FI=6,65
- K 35: Ws.-he.bräunlicher, f.kö., m.h. Qzt.; L.
R 36 02175 H 57 38080
RI = 7,32; FI = 5,45

7.3 Quarzitschiefer

- Q 01: M.grünl., f.kö., h. Qzt; A.
R 35 93890 H 57 33735
RI = 7,83; FI = 4,84
- Q 02: He.grüngr., f.kö., h. Qzt; A.
R 35 92890 H 57 33335
RI = 7,46; FI = 3,73
- Q 03: He.grünl., f.kö., h. Qzt., A.

R 35 93065 H 57 33880
RI = 6,80; FI = 3,74

Q 04: He.grünl., m.kö., w. Sdst.; A.
R 35 96120 H 57 35115
RI = 5,82; FI = 5,04

Q 05: He.grünl., f.kö., h. Qzt; L.
R 35 95070 H 57 35000
RI = 6,95; FI = 3,91

Q 06: M.gr., f.kö., h. Qzt; A.
R 35 94150 H 57 35040
RI = 7,32; FI = 4,80

Q 07: M.gr., f.-m.kö., h. Qzt.; A.
R 35 96175 H 57 35515
RI = 6,50; FI = 7,60

Q 08: Dkl.gr., f.kö., m.h. schm. Qzt; L.
R 35 97000 H 57 37185
RI = 6,52; FI = 4,79

7.4 Söse-Grauwacke

SO 01: Dkl.grüngr., m.kö., m.h., qzt. Gw.; A.
R 35 94120 H 57 35920
RI = 2,22; FI = 2,22

SO 02: M.grüngr., m.kö., h. Qzt. mit Tonschm.; A.
R 35 94015 H 57 36850
RI = 1,64; FI = 1,76

SO 03: Dkl.grüngr., m.kö., w. Gw.; L.
R 35 94060 H 57 37955
RI = 1,59; FI = 1,87

SO 04: M.grüngr., m.kö., h. Gw. mit Tonschm.; A.
R 35 92940 H 57 37070
RI = 1,50; FI = 1,80

SO 05: He.grünl. m.kö., h., qzt. Gw. mit Tonschm. und Tonfl.; A.
R 35 92850 H 57 36170
RI = 1,81; FI = 1,84

SO 06: M.gr., f.-m.kö., h., qzt. Gw.; L.
R 35 95020 H 57 37980
RI = 1,87; FI = 1,61

SO 07: Gr., f.-m.kö., h.-m.h., qzt. Gw.; A.
R 35 95000 H 57 37020

RI = 1,92; FI = 1,87

SO 08: M.gr., m.kö., m.h., Gw.; L.

R 35 96285 H 57 39120

RI = 1,35; FI = 2,00

SO 09: He.grünl., m.kö., h. Gw. mit Tonschm.; A.

R 35 96905 H 57 39080

RI = 1,66; FI = 2,15

SO 10: He.grünl.gr., m.kö., h. qzt. Gw. mit Tonschm.; L.

R 35 95980 H 57 37855

RI = 1,55; FI = 1,46

SO 11: Dkl.grüngr., m.kö., m.h.-w. Gw.; A.

R 35 96900 H 57 38000

RI = 1,93; FI = 1,51

SO 13: Dkl.grüngr., m.kö., w. Gw. mit Tonschmitzen; L.

R 35 97980 H 57 37960

RI = 1,88; FI = 2,21

SO 14: Dkl.grüngr., m.-grobkö.z.T. feinkongl., w. Gw; L.

R 35 97905 H 57 38900

RI = 1,89; FI = 2,11

SO 15: Dkl.grüngr., f.-m.kö., w. Gw.; L.

R 35 99460 H 57 39720

RI = 2,53; FI = 1,99

SO 16: Dkl.grüngr., f.kö., w. Gw., L.

R 35 98980 H 57 39150

RI = 1,68; FI = 1,84

SO 17: Dkl.-grüngr., m.kö.z.T. feinkongl., m.h. Gw.; L.

R 35 99190 H 57 40900

RI = 1,86; FI = 1,40

SO 18: Dkl.grüngr., f.-m.kö., w. Gw. mit Tonschm. und Tonfl.; A.

R 35 99600 H 57 40775

RI = 1,72; FI = 1,68

SO 19: Dkl.grüngr., m.kö. w., feldspatreiche Gw. mit Tonfl.; L.

R 36 00930 H 57 41050

RI = 2,32; FI = 2,85

SO 20: Dkl.grüngr., f.kö., h., qzt. Gw.; A.

R 35 99715 H 57 39900

RI = 1,93; FI = 1,97

SO 21: Dkl.grüngr., m.kö., w., feldspatführende Gw.; L.

R 35 97935 H 57 40165

RI = 1,72; FI = 1,33

- SO 22: Gr., f.-m.kö., h., qzt. Gw.; A.
R 35 91850 H 57 35710
RI = 1,57; FI = 1,30
- SO 23: Rötlich-gr., f.kö., m.h., schm. Sdst.; L.
R 35 91925 H 57 36840
RI = 1,70; FI = 1,61
- SO 24: Dkl.grüngr., m.kö., m.h. Gw.; A.
R 35 91600 H 57 34940
RI = 1,86; FI = 1,65
- SO 25: He.grünl., m.kö., h., qzt. Sdst.; A.
R 35 93190 H 57 35260
RI = 2,21; FI = 1,48
- SO 26: M.grüngr., f.kö., m.h., schm. Sdst.; A.
R 35 94910 H 57 35875
RI = 2,44; FI = 1,22
- SO 27: Gr., f.kö., h. Gw. mit Tonschm.; A.
R 35 95880 H 57 37280
RI = 2,18; FI = 1,68
- SO 28: Dkl.grüngr., m.kö., w. Gw. mit Tonfl.; A.
R 35 98305 H 57 40860
RI = 1,83; FI = 1,59
- SO 29: Dkl.grüngr., m.kö., w. Gw.; L.
R 35 97225 H 57 40065
RI = 1,73; FI = 1,60
- SO 30: Dkl.grüngr., m.kö., w. Gw. mit Tonschm.; L.
R 35 96000 H 57 40195
RI = 1,36; FI = 1,39
- SO 31: Dkl.grüngr., f.kö., w. Gw.; A.
R 35 95260 H 57 39140
RI = 1,48; FI = 1,69
- SO 32: Dkl.grüngr., m.kö., m.h. Gw. mit Tonschm.; L.
R 35 93120 H 57 37890
RI = 2,56; FI = 2,40
- SO 33: He.gr., f.kö., sehr h., qzt. Gw.; A.
R 35 97800 H 57 39290
RI = 2,15; FI = 1,49
- SO 34: He.gr., f.kö., sehr h., qzt. Gw.; A.
R 35 97800; H 57 39270
RI = 1,94; FI = 1,94
- SO 35: Ws.-he.gr., f.-m.kö., h., qzt. Gw.; A.

R 35 97820 H 57 39260
RI = 1,63; FI = 2,05

7.5 Ortberg-Sandstein

O 01: Gr., f.kö, h., qzt., glimmerführender Sdst.; A.
R 35 95830 H 57 33500
RI = 4,79; FI = 1,26

7.6 Glimmerquarzit

G 01: Dkl.gr., sehr f.kö., m.h., wulstig-blättriger Qzt.; A.
R 35 97800 H 57 33280
RI = 3,47; FI = 1,03

8 Schriftenverzeichnis

AGIRI, S. (1969):

Geologisch-Tektonische Untersuchungen am NW-Abhang des Acker-Bruchberges zwischen Gr. Schachtal und SW-Harzvorland (Oberharz).- Dipl. Arb. (unveröff.); 130 S.; Erlangen.

ALLEN, P. (1944):

Statistics in sedimentary petrology.- Nature; 153: 71 - 74; London.

ARMSTRONG, P. (1922):

Zircon as a criterion of igneous or sedimentary metamorphics.- Amer. J. Sci.; 204: 391 - 395; New Haven.

AWASTHI, N. (1961):

Authigenic tourmaline and zircon in the Vindhyan Formations of Sone Valley, Mirzapur District, Uttar Pradesh, India.- J. Sediment. Petrol.; 31: 482 - 484; Tulsa.

BISCHOFF, G. & STOPPEL, D. (1957):

Zum Alter des Wollenberg-Kellerwald-Quarzits (Rheinisches Schiefergebirge).- N. Jb. Geol. Paläont., Mh.: 14 - 24; Stuttgart.

BLANKENBURG, H.-J. & JAGUSCH, K.-H. (1964):

Mögliche Fehler bei Schwermineraluntersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der Schwermineralanalysen bei Glassanden.- Z. angew. Geol.; 10: 640 - 650; Berlin.

BOND, G. (1948):

Outgrowths on zircon from Southern Rhodesia.- Geol. Mag.; 85: 35 - 40; London.

BRAMMAL, A. (1928):

Dartmoor detritals: a study in provenance.- Proc. Geol. Assoc.; 39: 27 - 48; London

BRINCKMANN, J. (1963):

Der Nordost-Teil der Hörre-Ackerzone bei Marburg/Lahn (Rheinisches Schiefergebirge).- Dissertation; 148 S.; Marburg.

BRUCE, E. L. & JEWITT, W. (1936):

Heavy accessories of certain pre-cambrian intrusives of the Canadian Shield.- Geol. Mag.; 73: 193 - 213; London.

BURCHARDT, I. (1977a):

Ergebnisse lithologischer und petrographischer Untersuchungen am Ilsenburg- und Gommernquarzit (Dinant).- Hall. Jb. f. Geowiss.; 1: 101 - 114; Gotha/Leipzig.

- (1977b):

Paläogeographie und Faziesverhältnisse im Oberdevon und Dinant des Harzes.- Hall. Jb. f. Geowiss.; 2: 13 - 26; Gotha/Leipzig.

BUTTERFIELD, J. A. (1936):

Outgrowths on zircon.- Geol. Mag.; 73: 511 - 516; London.

CALLENDER, D. L. & FOLK, R. L. (1958):

Idiomorphic zircon, key to volcanism in the Lower Tertiary sands of Central Texas.- Amer. J. Sci.; 256: 257 - 269; New Haven.

CARROLL, D. (1953):

Weatherability of zircon.- J. Sediment. Petrol.; 23: 106 - 116; Tulsa.

CARUBA, R. & MANO, J. & DARS, R. & TURCO, G. (1974):

Corrosions experimentales de cristaux de zircon et comparaison avec des corrosions naturelles de zircons de granites albitiques.- Tschermaks Min. Petr. Mitt.; 21: 33 - 46; Wien.

CHRUSTSCHOFF, K.v. (1886):

Beitrag zur Kenntnis der Zirkone in Gesteinen.- Mineral. Petrogr. Mitt., N.F.; 7: 423 - 442; Wien.

DAVIS, J. C. (1973):

Statistics and data analysis in geology.- XIV + 550 S.; New York (John Wiley & Sons).

DIETZ, V. (1973):

Experiments on the influence of transport on shape and roundness of heavy minerals.- Contr. Sedimentology; 1: 69 - 102; Stuttgart.

DRYDEN, L. & DRYDEN, C. (1946):

Comparative rates of weathering of some common heavy minerals.- J. Sediment. Petrol.; 16: 91 - 96; Tulsa.

FOSTER, W. R. (1948):

Useful aspects of the fluorescence of accessory-mineral-zircon.- Amer. Mineral.; 33: 724 - 735; Washington.

FRASL, G. (1963):

Die mikroskopische Untersuchung der akzessorischen Zirkone als eine Routinearbeit des Kristallingeologen.- Jb. Geol. B.-Anst.; 106: 405 - 428; Wien.

FREDERICKSON, A. F. (1948):

Mode of occurrence of titanium and zirconium in laterites.-Amer. Mineral.; 33: 374 - 377; Washington.

FREISE, F. W. (1931):

Untersuchung von Mineralien auf Abnutzbarkeit bei Verfrachtung im Wasser.- Tschermaks Min. Petr. Mitt.; 41: 1 - 7; Wien.

GASTIL, R. G. & DeLISLE, M. & MORGAN, J. (1967):

Some effects of progressive metamorphism on zircons.- Bull. Geol. Soc. Amer.; 78: 879 - 906; Boulder.

GÖRZ, H. (1974):

Microprobe studies of inclusions in zircons and compilation of minor and trace elements from the literature.- Chem. Erde; 33: 326 - 357; Jena.

GOLDSTEIN, A. (1950):

Mineralogy of some cretaceous sandstones from the Colorado Front Range.- J. Sediment. Petrol.; 20: 85 - 97; Tulsa.

GOTTFRIED, D. & JAFFE, H. W. & SENFTLE, F. E. (1959):

Evaluation of the lead-alpha (Larsen) method for determining ages of igneous rocks.- U.S. Geol. Surv. Bull.; 1097-A: 1 - 63; Washington.

GRIFFITHS, J. C. (1960):

Frequency distribution in accessory mineral analysis.- J. Geol.; 68: 353 - 365; Chicago.

GRÜNFELDER, M. (1963):

Heterogenität akzessorischer Zirkone und die petrogenetische Deutung ihrer Uran/Blei-Zerfallsalter. I. Der Zirkon des Granodioritgneises von Acquacalda (Lukmanierpass).- Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.; 43: 235 - 257; Zürich.

GRÜNFELDER, M. & HANSON, G. N. & BRUNNER, G. O. & EBERHARD, E.: (1968):

U-Pb discordance and phase unmixing in zircons!- Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.; 101: 80 - 81; Boulder.

GRÜNFELDER, M. & HOFMÄNNER, F. & GRÖGLER, N. (1964):

Heterogenität akzessorischer Zirkone und die petrographische Deutung ihrer Uran/Blei-Zerfallsalter. II: Präkambrische Zirkonbildung im Gotthardmassiv.- Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.; 44: 543 - 558; Zürich.

HEIMBUCHER, O. (1978):

Stratigraphische, tektonische und sedimentologische Untersuchungen im SW-Bereich des Acker-Bruchberg-Zuges und des Lonauer Sattels (Harz).- Dipl.-Arb. (unveröff.); 112 S.; Erlangen.

HENNINGSEN, D. (1967):

Crushing of sedimentary rock samples and its effect on shape and number of heavy minerals.- Sedimentology; 8: 253 - 255; Amsterdam.

HOLLAND, H. D. & GOTTFRIED, D. (1955):

The effect of nuclear radiation on the structure of zircon.-Acta Cryst.; 8: 291 - 300; Copenhagen.

HOMRIGHAUSEN, R. (1979):

Petrographische Untersuchungen an sandigen Gesteinen der Hörre-Zone (Rheinisches Schiefergebirge, Oberdevon - Unterkarbon).- Geol. Abh. Hessen; 79: 1 - 84; Wiesbaden.

HOPPE, G. (1951):

Die akzessorischen Schwermineralien in Eruptivgesteinen am Beispiel des Ramberggranites und anderer Harzer Gesteine.- Geologica; 2; VII + 114 S.; Berlin.

- (1957):

Das Erscheinungsbild akzessorischer Zirkone des Lausitzer Granodiorits von Wiesa bei Kamenz und seine petrogenetische Auswertung.- Geologie; 6: 289 - 305; Berlin.

- (1959a):

Die Schwermineralien der tertiären Sande des Geiseltales.- Geologie; 8: 612 - 624; Berlin.

- (1959b):

Über die Verwendbarkeit der akzessorischen Zirkone zu Altersbestimmungen.- N. Jb. Mineral., Abh.; 93: 45 - 66; Stuttgart.

- (1961):

Zur Morphologie des akzessorischen Zirkons.- Ber. Geol. Ges. DDR: 473 - 477; Berlin.

- (1962a):

Petrogenetisch auswertbare morphologische Erscheinungen an akzessorischen Zirkonen.- N. Jb. Mineral., Abh.; 98: 35 - 50; Stuttgart.

- (1962b):

Akzessorische Zirkone aus dem Granitkomplex der Lausitz (Sachsen).- Freib. Forsch.-H.; C 129: 35 - 50; Berlin.

- (1962c):

Die akzessorischen Zirkone aus Gesteinen des Bergeller und des Adamello-Massivs.- Chem. Erde; 22: 245 - 263; Jena.

- (1963a):

Die Verwendbarkeit morphologischer Erscheinungen an akzessorischen Zirkonen für petrogenetische Auswertungen.- Abh. Dt. Akad. Wiss., Bergb., Hüttenw., Montangeol.; 1; S. 1 - 130; Berlin.

- (1963b)

Identifizierung von Tuff mit Hilfe des Zirkons und Nachweis von Quarzporphyrtuff des Auerberges (Harz).- Naturwiss.; 50: 688; Berlin

- (1966a).

Zirkone aus Granuliten.- Ber. dt. Ges. geol. Wiss., B; 11: 47 - 81; Berlin.

- (1966b):

Nachweis der pyroklastischen Entstehung der Kohlentonsteine von Oelsnitz (Sachsen).- Ber. dt. Ges. geol. Wiss., B; 11: 215 - 222; Berlin.

- (1967):
Die Zirkone eines pyroklastischen Gesteins aus dem Silur von Hasselfelde (Harz).- Geologie; 16: 542 - 549; Berlin.
- HOPPE, G. & KUNERT, R. & SCHWAB, M. (1965):
Zirkone aus Gesteinen des mitteldeutschen Permokarbons. 2. Die Altersstellung des Auerbergporphyrs im Harz.- Geologie; 14: 777 - 813; Berlin.
- HOPPE, G. & SCHWAB, M. (1964):
Zirkone aus Gesteinen des mitteldeutschen Permokarbons. 1. Zirkone aus Sedimenten und Tuffen der Umgebung von Wettin (Halle-scher Permokarbonkomplex).- Geologie; 13: 1059 - 1079; Berlin.
- HOUSTON, R. S. & MURPHY, I. F. (1965):
Age and distribution of sedimentary zircon as a guide to provenance.- U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.; 525-D: 22 - 26; Washington.
- HUTTON, C. O. (1950):
Studies of heavy detrital minerals.- Bull. Geol. Soc. Amer.; 61: 635 - 716; Boulder.
- KALSBECK, F. (1967):
Evolution of zircons in sedimentary and metamorphic rocks: a discussion.- Sedimentology; 8: 163 - 167; Amsterdam.
- KALSBECK, F. & ZWART, H. J. (1967):
Zircons from some gneisses and granites in the central and eastern Pyrenees.- Geol. en Mijnb.; 46,1: 457 - 466; s'Gravenhage.
- KARAKIDA, Y. (1961)
Zircon overgrowths in the Ryoke metamorphic zone of the Yanai Area, Southwest Japan.- Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D; 10: 59 - 72; Fukuoka.
- (1963):
Petrological studies of naturally heated zircons, Part II. Petrology of some granitic xenoliths in volcanic rocks.- Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D; 14: 39 - 68; Fukuoka.
- KARAKIDA, Y. & TOMITA, T. & GOTTFRIED, D. & STERN, T. W. & ROSE, H. J. Jr. (1965):
Lead-alpha ages of some granitic rocks from North Kyushu and Central Japan.- Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D; 16: 249 - 263; Fukuoka.
- KLAUA, D. (1969):
Sedimentpetrographische Untersuchungen der Rhätsandsteine Thüringens.- Geologie, Beih.; 64: 1 - 82; Berlin.
- KLUMP, N. (1978):
Feinstratigraphische, strukturatektonische und sedimentologische

Untersuchungen des NE' Acker Bruchberg-Zuges zwischen Damms Haus und Sieberquellgebiet (Harz).- Dipl.-Arb. (unveröff.); 146 S.; Erlangen.

KOCHMANN, G. (1968a):

Die oberdevonische bis unterkarbonische Schichtenfolge und der Schuppenbau im NW-Bereich des mittleren Acker-Bruchberg-Zuges (Oberharz).- Dissertation; 155 S.; Erlangen.

- (1968b):

Die oberdevonische bis unterkarbonische Schichtenfolge und der Schuppenbau im NW-Bereich des mittleren Acker-Bruchberg-Zuges (Oberharz).- Auszug aus der Inauguraldissertation; 41 S.; Erlangen.

KÖHLER, H. (1970):

Die Änderung der Zirkonmorphologie mit dem Differentiationsgrad eines Granits.- N. Jb. Mineral., Mh.: 405 - 420; Stuttgart.

KÖPPEL, V. & GRÜNENFELDER, M. (1971):

A study of inherited and newly formed zircons from paragneisses and granitised sediments of the Strona - Ceneri - Zone (Southern Alps).- Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.; 51: 385 - 409; Zürich.

KULLMANN, J. & MEYER, W. (1963):

Zur Gliederung des unteren Kulms nordwestlich der Sösemulde (Oberharz).- Roemeriana; 7: 5 - 17; Clausthal-Zellerfeld.

LARSEN, L. H. & POLDERVAART, A. (1955):

Statistical analysis of zircons in rocks.- Bull. Geol. Soc. Amer.; 66: 1588 - 1589; Boulder.

- (1957):

Measurements and distribution of zircons in some granitic rocks of magmatic origin.- Mineral. Mag.; 31: 544 - 564; London.

LUDWIG, G. (1955):

Neue Ergebnisse der Schwermineral- und Kornanalyse im Oberkarbon und Rotliegenden des südlichen und östlichen Harzvorlandes.- Geologie, Beih.; 14: 1 - 76; Berlin.

MACKIE, W. (1925):

The source of the purple zircons in the sedimentary rocks of Scotland.- Trans. Edinburgh Geol. Soc. ; 11: 200 - 213; Edinburgh.

MADER, D. (1980):

Weitergewachsene Zirkone im Buntsandstein der Westeifel.- Aufschluss; 31: 163 - 170; Heidelberg.

MARSHALL, B. (1967):

The present status of zircon.- Sedimentology; 9: 119 - 136; Amsterdam.

- (1968):
The present status of zircon: a reply.- *Sedimentology*; 10: 214 - 216; Amsterdam.
- MATTIAT, B. (1960):
Beitrag zur Petrographie der Oberharzer Kulmgrauwacke.- *Beitr. Mineral. u. Petrogr.*; 7: 242 - 281; Berlin.
- MEDENBACH, O. (1976):
Geochemie der Elemente in Zirkon und ihre räumliche Verteilung - eine Untersuchung mit der Elektronenstrahlmikrosonde -- Dissertation; Heidelberg.
- MEISCHNER, D. (1968):
Stratigraphische Gliederung des Kellerwaldes.- *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*; 96: 18 - 30; Wiesbaden.
- MEISCHNER, D. et al. (1965):
Schwebende Probleme des Harz-Paläozoikums.- *Exk.-Führer zur Tagung der Deutschen Geologischen Gesellschaft 1965*; Hannover.
- MEISCHNER, D. & SCHNEIDER, J. (1970):
Ober-Devon und älteres Unter-Karbon zwischen Acker und Diabaszug im Oberharz.- *N. Jb. Geol. Paläont., Abh.*; 135: 42 - 81; Stuttgart.
- MEMPEL, G. (1932):
Die Gliederung des Kulms in der Sösemulde und die Kulmkonglomerate im Oberharz.- *Abh. preuß. geol. L.-Anst., N. F.*; 153: 1 - 65; Berlin.
- MEYER, K.-D. (1965):
Stratigraphie und Tektonik des Allerzuges am Nordwestrand des Acker-Bruchberges bei Riefensbeek im Harz.- *Geol. Jb.*; 82: 385 - 436; Hannover.
- MORGAN, J. H. & AUER, M. L. (1941):
Optical, spectrographic and radioactivity studies of zircon.- *Amer. J. Sci.*; 239: 305 - 311; New Haven.
- NICKEL, E. (1973):
Experimental dissolution of light and heavy minerals in comparison with weathering and intrastatal solution.- *Contr. Sedimentology*; 1: 1 - 68; Stuttgart.
- NORMAN, T. N. (1969):
A method to study the distribution of heavy-mineral grain abundance in a turbidite.- *Sedimentology*; 13: 263 - 280; Amsterdam.
- PAECH, H.-J. (1973):
Zur Geologie des Gommern-Quarzits östlich Magdeburg.- *Z. geol. Wiss.*; 1: 815 - 830; Berlin.

PLESSMANN, W. (1961):

Strömungsmarken in klastischen Sedimenten und ihre geologische Auswertung. Untersuchungsergebnisse im Oberharzer Kulm und im Westalpinen Flyschbecken von San Remo.- Geol. Jb.; 78: 503 - 566; Hannover.

POLDERVAART, A. (1950):

Statistical studies of zircon as a criterion in granitization.- Nature; 165: 574 - 575; London.

- (1955):

Zircons in rocks. 1. Sedimentary rocks.- Amer. J. Sci.; 253: 433 - 461; New Haven.

- (1956):

Zircon in rocks. 2. Igneous rocks.- Amer. J. Sci.; 254: 521 - 554; New Haven.

POLDERVAART, A. & BACKSTRÖM, J. W. (1950):

A study of an area at Kakamas (Cape Province).- Trans. Proc. Geol. Soc. South Africa; 52: 433 - 495; Johannesburg.

PUPIN, J.-P. & BONIN, B. & TESSIER, M. & TURCO, G. (1978):

Rôle de l'eau sur les caracteres morphologiques et la cristallisation du zircon dans les granitoides.- Bull. Soc. geol. France; 20: 721 - 725; Paris.

PUPIN, J.-P. & BOUCARUT, M. & TURCO, G. & GUEIRARD, S. (1969):

Les zircons des granites et migmatites du massif de l'Argentera - Mercantour et leur signification petrogenetique.- Bull. Soc. fr. Mineral. Cristallogr.; 92: 472 - 483; Paris.

PUPIN, J.-P. & TURCO, G. (1972):

Une typologie originale du zircon accessoire.- Bull. Soc. fr. Mineral. Cristallogr.; 95: 348 - 359; Paris.

- (1974):

Application a quelques roches endogenes du massif franco-italien de l'Argentera - Mercantour d'une typologie originale du zircon accessoire. Etude comparative avec la Methode des R.M.A..- Bull. Soc. fr. Mineral. Cristallogr.; 97: 59 - 69; Paris.

PUTTRICH, I. (1972):

Der nordöstliche Acker-Bruchberg-Zug, speziell bei Bad Harzburg (Oberharz).- Dissertation; 224 S.; Erlangen.

PUTTRICH, I. & SCHWAN, W. (1974):

Die Probleme der Paläogeographie und Faziesbildung in der Hörre-Gommern-Zone, speziell am Acker-Bruchberg (Harz).- N. Jb. Geol. Paläont., Abh.; 146: 347 - 384; Stuttgart.

RABITZSCH, K. & GRÜGER, M. (1968):

Schwermineralanalytische Untersuchungen an Grauwacken des Har-

zes.- Hercynia, N. F.; 5: 373 - 384; Leipzig.

REICHEL, B. (1978):

Zur Geologie des mittleren Acker-Bruchberges zwischen Riefensbeek und Kamschlacken (Oberharz) unter besonderer Berücksichtigung der Sedimentologie des Unterkarbons.- Dipl.-Arb. (unveröff.); 222 S.; Erlangen.

REUTER, F. (1964):

Die regionalgeologische Stellung der Flechtingen - Roßlauer Scholle.- Geologie, Beih.; 40: 1 - 66; Berlin.

RIBBERT, K.-H. (1973):

Stratigraphische und sedimentologische Untersuchungen im Unterkarbon nördlich des Oberharzer Diabasziuges (NW-Harz, Westdeutschland).- Göttinger Arb. Geol. Paläont.; 18,II: 1 - 58; Göttingen.

RITTENHOUSE, G. (1943):

Transportation and deposition of heavy minerals.- Bull. Geol. Soc. Amer.; 54: 1725 - 1780; Boulder.

RUSSEL, R. D. & TAYLOR, R. E. (1937):

Roundness and shape of Mississippi river sands.- J. Geol.; 45: 225 - 267; Chicago.

SAXENA, S. K. (1966a):

Evolution of zircons in sedimentary and metamorphic rocks.- Sedimentology; 6: 1 - 33; Amsterdam.

- (1966b):

A note on the origin of zircons in sedimentary and metamorphic rocks.- Geol. Fören. Förhandl.; 88: 276 - 279; Stockholm.

- (1968a):

Evolution of zircons in sedimentary and metamorphic rocks: a reply.- Sedimentology; 10: 145 - 146; Amsterdam.

- (1968b):

The present status of zircon.- Sedimentology; 10: 209 - 213; Amsterdam.

SCHIDLOWSKI, M. O. G. (1963):

Recrystallization of zircon as an indication of contact metamorphism.- Nature; 197: 68 - 69; London.

SCHRIEL, W. (1933):

Stratigraphische und tektonische Stellung des Acker-Bruchbergsystems im Harz.- Jb. preuß. geol. L.-Anst. f. d. Jahr 1932; 53: 157 - 176; Berlin.

SCHRIEL, W. & STOPPEL, D. (1958):

Acker-Bruchberg und Kellerwald - Stratigraphie und Tektonik.- Z.

dt. geol. Ges.; 110: 260 - 292; Hannover.

- (1961):

Fazies, Paläogeographie und Tektonik im Mittel- und Oberdevon des Harzes.- Geol. Jb.; 78: 719 - 760; Hannover.

SCHWAN, W. (1950):

Die Acker-Bruchbergsschichten des Harzes.- Abh. geol. L.-Anst. Berlin, N. F.; 216: 9 - 47; Berlin.

- (1958):

Zur Neugliederung der Acker-Bruchbergsschichten nach Conodonten, speziell bei Harzburg.- Geologie; 7: 991 - 1017; Berlin.

- (1967):

Zur Stratigraphie, Paläogeographie und Faziesbildung der Hörre-Gommern und Tanner Systeme.- Erlanger geol. Abh.; 65: 1 - 70; Erlangen.

SMITHSON, F. (1937):

Outgrowths on zircon in the middle Jurassic of Yorkshire.- Geol. Mag.; 74: 281 - 283; London.

- (1941):

The alteration of detrital minerals in the mesozoic rocks of Yorkshire.- Geol. Mag.; 78: 97 - 112; London.

SOLANWAR, R. (1978):

Zur Geologie des Lonauer Sattels und der angrenzenden Gebiete des Acker-Bruchberg-Zuges, sowie der Sieber-Mulde (Harz).- Dissertation; 225 S.; Erlangen.

STERN, T. W. & ROSE, H. J. Jr. (1961):

New results from lead-alpha age measurements.- Amer. Mineral.; 46: 606 - 612; Washington.

STOPPEL, D. & GUNDLACH, H. (1972):

Baryt-Lagerstätten des Südwest-Harzes (Raum Sieber - St. Andreasberg).- Geol. Jb., Beih.; 124: 1 - 120; Hannover.

STRAATEN, H.-P. v. (1969):

Geologie des Oberharzer Diabasziuges zwischen Lerbach und dem Polsterberg (Mtbl. 4227 Osterode, 4228 Riefensbeek).- Dipl.-Arb. (unveröff.); Göttingen.

TAUBENECK, W. H. (1957):

Zircons in the metamorphic aureole of the Bald Mountain Batholith, Elkhorn Mountains, Northeastern Oregon.- Bull. Geol. Soc. Amer.; 68: 1803 - 1804; Boulder.

TOMITA, T. (1954):

Geologic significance of the color of granite zircon, and the discovery of the pre-cambrian in Japan.- Mem. Fac. Sci., Kyushu

Univ, Ser. D; 4: 135 - 161; Fukuoka.

TOMITA, T. & KARAKIDA, Y. (1958):

Source identification of some granitic xenoliths in volcanic rocks.- Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D; 8: 25 - 34; Fukuoka.

TRAUTNITZ, H.-M. (1978):

Zur Geologie des Acker-Bruchberg-Zuges südöstlich des Söse-Stausees (Oberharz).- Dipl.-Arb. (unveröff.); 253 S.; Erlangen.

TRÖGER, W. E. (1969):

Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, Teil 2 - Textband.- XII + 822 S.; Stuttgart (Schweizerbart).

TYLER, S. A. (1940):

Zircon studies in the New Jersey Highlands.- Amer. J. Sci.; 238: 260 - 271; New Haven.

VALETON, I. (1955):

Veränderungen an Zirkon und Turmalin in Buntsandstein und Keuper.- Heidelb. Beitr. Mineral. Petrogr.; 5: 100 - 104; Berlin.

WACHENDORF, H. (1966):

Das Devon und Karbon der Sieber-Mulde (Harz).- N. Jb. Geol. Paläont., Abh.; 126: 183 - 203; Stuttgart.

WYATT, M. (1954):

Zircons as provenance indicators.- Amer. Mineral.; 39: 983 - 990; Washington.

YAMAGUCHI, M. (1961):

Alpha-activity of granite and andesite zircons from Southwest Japan measured with nuclear emulsion.- Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D; 11: 49 - 59; Fukuoka.

ZIMMERLE, W. (1963):

Eine Anreicherung von Zirkon und Monazit in der Kontaktzone des Rattlesnake-Granits, Südkalifornien.- N. Jb. Mineral., Abh.; 100: 164 - 184; Stuttgart.

- (1972):

Sind detritische Zirkone rötlicher Farbe auch in Mitteleuropa Indikatoren für präkambrische Liefergebiete?- Geol. Rdsch. 61: 116 - 139; Stuttgart.

- (1979):

Accessory zircon from a rhyolite, Yellowstone National Park (Wyoming, U.S.A.).- Z. dt. geol. Ges.; 130: 361 - 369; Hannover.

9 Tafeln

zu Tafel 1:

Zirkone aus der Söse-Grauwacke

(Die Länge der Körner beträgt 100 - 200 Mikron)

Fig. 1: Idiomorpher, zonar gebauter Kristall mit kleinem, zentralem Kern und stäbchenförmigen Inklusionen

Fig. 2: Idiomorpher, zonar gebauter Kristall; ein kleiner Kern ist schwach sichtbar (im rechten oberen Drittel); verschiedene unregelmäßige Inklusionen (vorwiegend rundlich)

Fig. 3: Idiomorpher, zonar gebauter Kristall mit unregelmäßig-länglichem Kern; Quer- und Radialbrüche (Sprengung der Hülle)

Fig. 4: Idiomorpher, randlich zonar gebauter Kristall; Quer- und Diagonalbrüche

Fig. 5: Idiomorpher, zonar gebauter, unregelmäßig-einseitig ausgewachsener Kristall; rundlicher, trüber Kern (links); stäbchenförmige und rundliche Inklusionen linear aufgereiht; Querbrüche

Fig. 6: Idiomorpher, zonar gebauter Kristall mit kleinem, rundlich-trübem Kern; Metamiktisierungserscheinungen in den äußeren Bereichen (Trübungen); Sprengung der Hülle

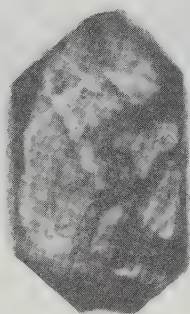
Fig. 7: Idiomorpher, klarer Kristall; ein Kern ist wegen der Häufung von Inklusionen (stäbchenförmig und rundlich) im Zentrum wahrscheinlich

Fig. 8: Idiomorpher Kristall mit großem, kurzprismatisch-idiomorphem Kern, dessen Oberfläche getrübt ist; Sprengung der Hülle

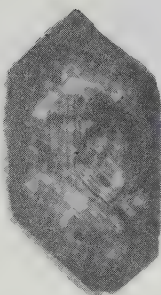
Fig. 9: Idiomorpher, schwach zonar gebauter, zerbrochener Kristall; rundlicher Kern; Sprengung der Hülle

Fig. 10: Unregelmäßig-rundliches Korn mit rundlichem Kern, der vom Zonarbau nachgezeichnet wird; dunkle, rundliche Inklusionen in den äußeren Bereichen; Sprengung der Hülle

Fig. 11: Subidiomorphes Korn; um einen großen, idiomorphen Kern erfolgte dünnes Neuwachstum; Trübung im zentralen Kernteil macht Kern im Kern wahrscheinlich (3 Wachstumsstadien)



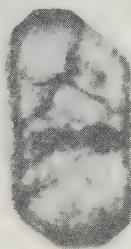
1



2



3



4



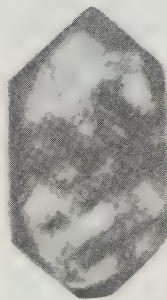
5



6



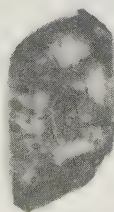
7



8



9



10



11

zu Tafel 2:

Zirkone aus der Söse-Grauwacke

(Die Länge der Körner beträgt 100 - 200 Mikron)

Fig. 1: Idiomorphes Korn; Auswachsung zweier Individuen um einen wahrscheinlichen, gemeinsamen Kern; verschiedene Inklusionen

Fig. 2: Wie Fig. 1, jedoch deutlicher ausgeprägt

Fig. 3: Idiomorpher Kristall, bestehend aus zwei wenig verschieden voneinander orientierten Individuen; trübe, rundliche und klare, stäbchenförmige Inklusionen

Fig. 4: Subidiomorphes Korn; rundlicher Kern (rechts unten) mit angedeutetem, rundem Zonarbau; Fläche links unten (Pfeil) wird als durch Wachstumsbehinderung entstanden gedeutet

Fig. 5: Idiomorpher Kristall; einseitige Auswachsung (links oben); Sprengung der Hülle

Fig. 6: Subidiomorphes Korn; unregelmäßiger, großer Kern; Umwachsung nur im oberen Teil deutlich und rechts vermutlich durch andere Kristalle behindert

Fig. 7: Rundliches Korn mit Andeutungen von Kristallflächen, seitlich ausgewachsen; Inklusionen im Zentrum machen Kern wahrscheinlich

Fig. 8: Rundliches Korn mit Andeutungen von Kristallflächen; rundliche Inklusionen

Fig. 9: Subidiomorpher Kristall mit dunklem, kleinem Kern (unten) und angedeutetem, rundlichem Zonarbau; große, klare, rundliche Inklusionen links oben

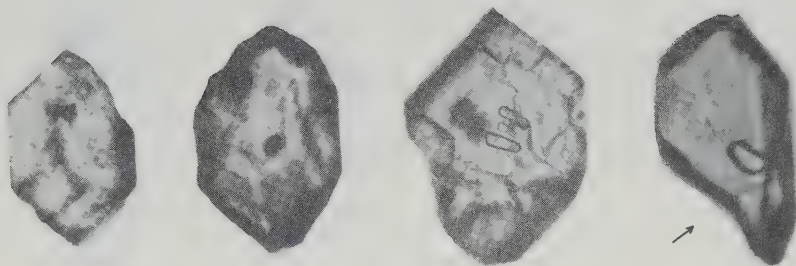
Fig. 10: Rundliches Korn mit Andeutungen von Kristallflächen; trüber Kern; rundliche und stäbchenförmige Inklusionen

Fig. 11: Zerbrochener, idiomorpher Kristall; eine Pyramidenfläche ist stark unterdrückt; schlauchförmige Inklusionen parallel zur c-Achse

Fig. 12: Rundes Korn mit rundem, trübem Kern und Zonarbau; Sprengung der Hülle; große, rundliche Inklusionen

Fig. 13: Idiomorpher Kristall; infolge Metamiktisierung getrübt; Kern wahrscheinlich

Fig. 14: Idiomorpher Kristall; metamikt; zentraler Kern undeutlich sichtbar

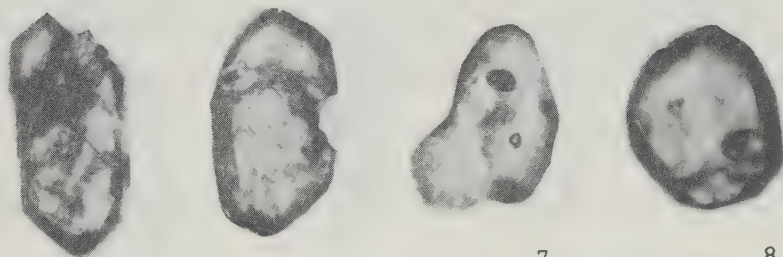


1

2

3

4



5

6

7

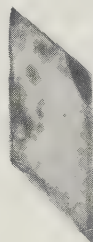
8



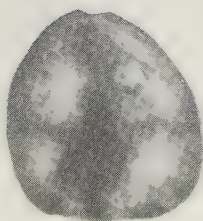
9



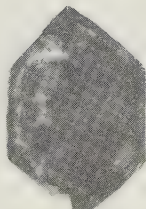
10



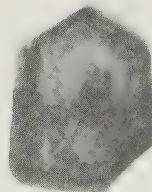
11



12



13



14

zu Tafel 3:

Zirkone aus der Sieber-Grauwacke

(Die Länge der Körner beträgt 100 - 200 Mikron)

Fig. 1: Idiomorpher, zonar gebauter Kristall; Quer- und Diagonalbruch; Inklusionen parallel der c-Achse machen einen Kern wahrscheinlich

Fig. 2: Idiomorpher, zonar gebauter, zerbrochener Kristall mit kleinem, zerbrochenem Kern; randlich kleine Inklusionen

Fig. 3: Idiomorpher Kristall; Häufung von Inklusionen im Zentrum begründet Kernverdacht

Fig. 4: Idiomorpher Kristall; radial angeordnete Brüche und stäbchenförmige Inklusionen

Fig. 5: Idiomorpher, zonar gebauter Kristall; Kern wahrscheinlich; große Inklusionen im Zentrum

Fig. 6: Idiomorpher Kristall; einseitige Auswachsung (nach oben und links)

Fig. 7: Subidiomorpher, zonar gebauter Kristall mit diffus begrenztem, rundlichem Kern Sprengung der Hülle

Fig. 8: Idiomorpher, zerbrochener Kristall; dunkler, rundlicher, zentraler Kern; dünnes Neuwachstum; nadelige und stäbchenförmige Inklusionen

Fig. 9: Idiomorpher Kristall; einseitig ausgewachsen

Fig. 10: Idiomorpher, zonar gebauter Kristall; Kern wahrscheinlich; stäbchenförmige, zentrale Inklusionen

Fig. 11: Idiomorpher, zerbrochener Kristall mit blasenförmigen Inklusionen im Zentrum, die einen Kern wahrscheinlich machen; Längsbruch

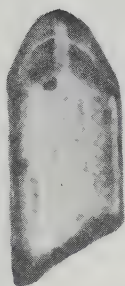
Fig. 12: Idiomorpher Kristall; Schläuche parallel der c-Achse angeordnet

Fig. 13: Subidiomorphes Korn mit unregelmäßigem, auf seiner Oberfläche etwas verunreinigtem Kern

Fig. 14: Idiomorpher Kristall; kleine Inklusionen im Zentrum; große, stäbchenförmige Inklusionen randlich; Kernverdacht



1



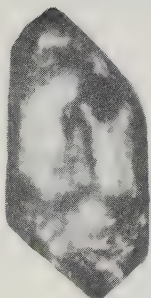
2



3



4



5



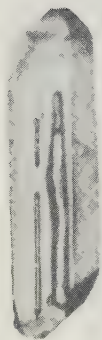
6



7



8



12



9



10



11



13



14

zu Tafel 4:

Zirkone aus der Sieber-Grauwacke

(Die Länge der Körner beträgt 100 - 200 Mikron)

Fig. 1 - 3: Zusammengesetzte, runde Körner (Verwachsungen) mit glatten Oberflächen (Granulitzirkone)

Fig. 4: Korn mit Hahnenkamm-Korrosion (Pfeile)

Fig. 5: Unregelmäßig-runde Auswachsung um einen gemeinsamen Kern

Fig. 6: Korrosionsform

Fig. 7: Rundes, zonar gebautes Korn mit subidiomorphem Kern

Fig. 8: Z T. idiomorphes Korn; dünnes Neuwachstum (rechts oben)

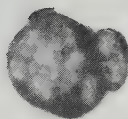
Fig. 9 - 11: runde Körner mit rauher Oberfläche (Sedimentzirkone)

Fig. 10: mit Querbrüchen

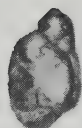
Fig. 11: mit Zonarbau



1



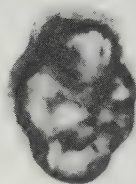
2



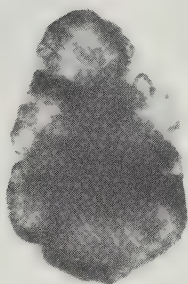
3



4



5



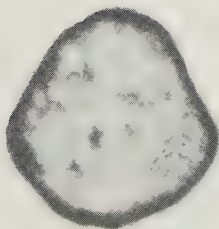
6



7



8



9



10



11

zu Tafel 5:

Zirkone aus dem Kammquarzit

(Die Länge der Körner beträgt 100 - 200 Mikron)

Fig. 1: Rundes, oberflächlich genarbttes Korn mit Zonarbau; Kern wahrscheinlich; Sprengung der Hülle; verschiedene Inklusionen

Fig. 2: Rundes Korn mit schwach sichtbarer Oberflächennarbung und kleinem, zentralem Kern

Fig. 3: Rundes, oberflächlich genarbttes Korn mit Nadeln und Schläuchen quer zur Längsachse; große, rundliche Inklusion (oben)

Fig. 4: Rundes, genarbttes Korn mit Inklusionen im Zentrum; Kernverdacht

Fig. 5: Rundes Korn mit dunklem Kern und verschiedenen großen und kleinen Inklusionen; Sprengung der Hülle

Fig. 6: Rundes, oberflächlich genarbttes Korn mit kristalliner, dunkler Inklusion (im Zentrum) und verschiedenen anderen Inklusionen; Diagonalbruch

Fig. 7: Rundes Korn mit Oberflächennarbung; nadelige und rundliche Inklusionen

Fig. 8: Rundes, oberflächlich genarbttes Korn mit vielen rundlichen Inklusionen

Fig. 9: Subidiomorphes Korn mit opaken, unregelmäßig geformten (Erz) und nadeligen Inklusionen

Fig. 10: Rundes, zerbrochenes Korn mit Zonarbau; Sprengung der Hülle

Fig. 11: Rundes Korn mit vielen rundlichen Inklusionen (Blasen) im Zentrum; Kernverdacht

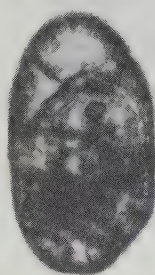
Fig. 12: Zerbrochenes, rundliches Korn mit großen, runden Inklusionen (Blasen)

Fig. 13: Rundes Korn mit Oberflächennarbung; großer Schlauch quer zur Längsachse; kleine stäbchenförmige Inklusion

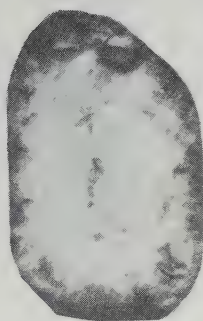
Fig. 14: Rundliches Korn mit starker Oberflächennarbung; nadelige Inklusion

Fig. 15: Diagenetisch zerbrochenes Korn (Z), noch an Quarz (Q) anhaftend

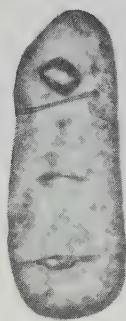
Fig. 16: Idiomorpher Kristall mit diffus begrenztem Kern und Inklusionen auf der Kernoberfläche



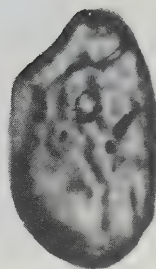
1



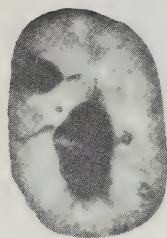
2



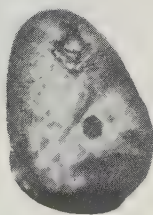
3



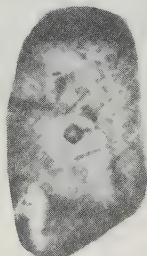
4



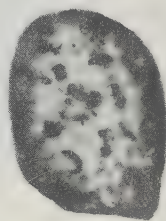
5



6



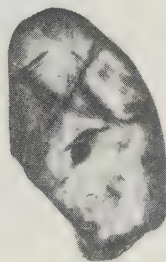
7



8



9



10



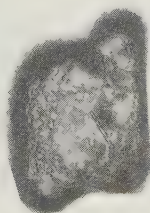
11



12



13



14



15



16

zu Tafel 6:

Zirkone aus dem Kammquarzit

(Raster-Elektronenmikroskop-Aufnahmen)

Fig. 1: Korn mit rauher Oberfläche; die stark genarbte Zone (Pfeile) ist in Fig. 2 vergrößert dargestellt

Fig. 2: Ausschnitt aus Fig. 1

Fig. 3: Zerbrochenes Korn; die Bruchfläche zeigt sich muschelig-stufig

Fig. 4: Ausschnitt aus Fig. 3

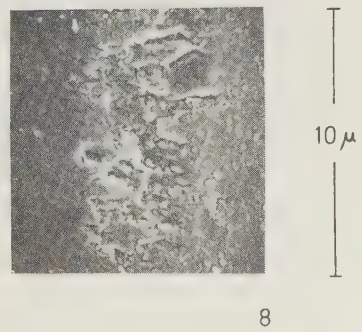
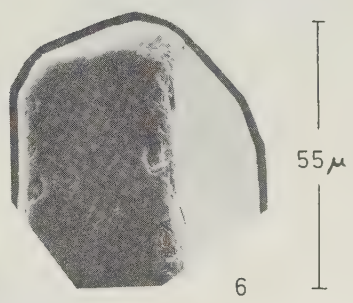
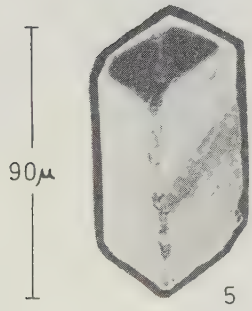
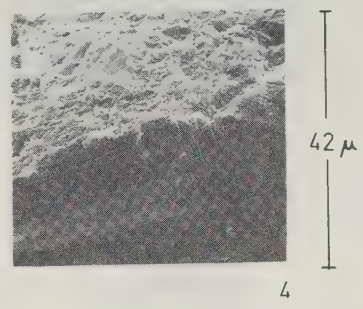
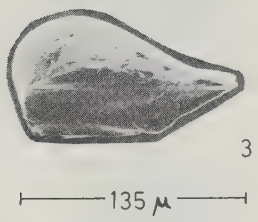
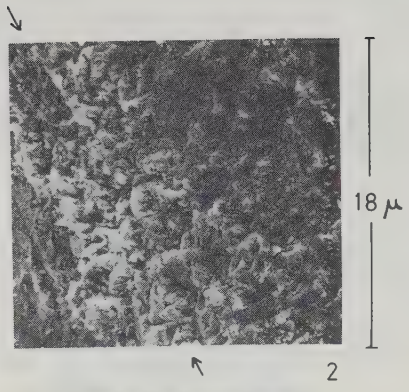
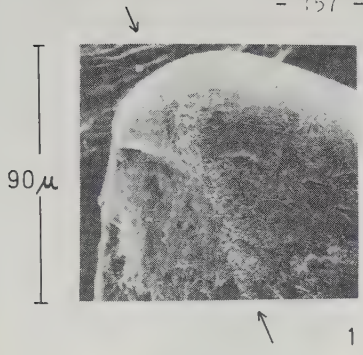
Fig. 5: Idiomorpher, angerundeter Kristall der Tracht 1 (vgl. Abb. 5); die Kornverrundung beginnt an den Kristallkanten und an den Pyramidenspitzen

Fig. 6: Derselbe Kristall wie in Fig. 5 aus anderer Perspektive

Fig. 7: Gerundetes Korn mit rauher Oberfläche und reliktschen Kristallflächen

Fig. 8: Grenze zweier Kristallflächen des Korns in Abb. 7; die Kornverrundung beginnt an den Kristallkanten (vgl. Fig. 5)

- 157 -



zu Tafel 7:

Zirkone aus dem Kammquarzit

(Raster-Elektronenmikroskop-Aufnahmen)

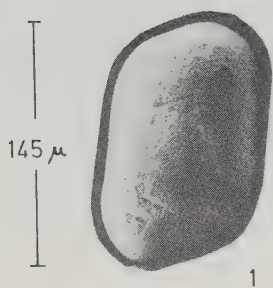
Fig. 1: Rundes Korn mit narbiger Oberfläche; kleine Reste von Kristallflächen sind noch erhalten (rechts und unten)

Fig. 2: Grenze der rauhen Oberfläche gegen eine reliktsche Kristallfläche des Korns in Fig. 1

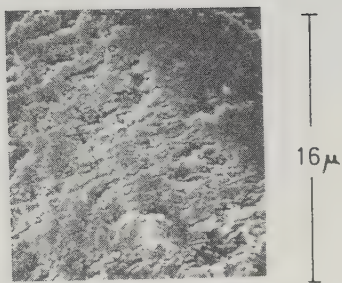
Fig. 3: Rundes Korn mit sehr rauher Oberfläche; in Vertiefungen liegende, glatte Oberflächen deuten darauf hin, daß die Kornverrundung vorwiegend durch physikalische Agentien erfolgte

Fig. 4: Rundes, oberflächenrauhes Korn mit freigelegter Inklusion (unten rechts)

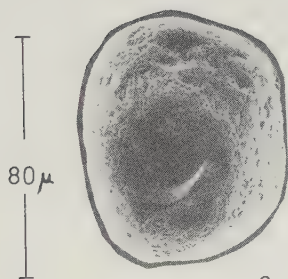
Fig. 5: Gerundetes Korn mit rauher Oberfläche; die in einer Vertiefung liegende (geschützte), glatte Oberfläche deutet wieder auf Kornverrundung durch physikalische Prozesse (Abrollung) (vgl. Fig. 3)



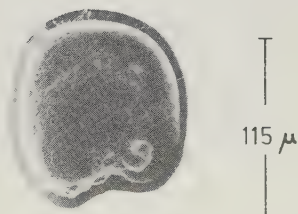
1



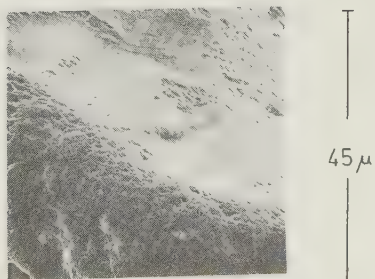
2



3



4



5

Lebenslauf

Trautnitz, Hans-Michael, geboren am 12. 02. 1954
in 8800 Eyb, jetzt Ansbach, als Sohn des
Vermessungsingenieurs Johann Michael Trautnitz
und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Kreß

Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung:

1960 - 1964 Volksschule in Eyb

1964 - 1973 Gymnasium Carolinum in Ansbach

Wehrdienst: 1973 - 1974 in 7947 Mengen und 8933 Schwabstahl

Hochschulbildung:

1974 - 1980 Studium an der Friedrich-Alexander-
Universität Erlangen

Fachrichtung: Geologie/Paläontologie

1978 Diplom-Prüfung

1978 - 1980 Promotionsstudium

